

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-45122

(43)公開日 平成11年(1999)2月16日

(51)Int.Cl.⁶

G 0 5 D 7/00

識別記号

F I

G 0 5 D 7/00

Z

審査請求 未請求 請求項の数23 O.L 外国語出願 (全 54 頁)

(21)出願番号 特願平10-144979

(22)出願日 平成10年(1998)4月17日

(31)優先権主張番号 08/840242

(32)優先日 1997年4月17日

(33)優先権主張国 米国 (U.S.)

(71)出願人 390040660

アプライド マテリアルズ インコーポレ
イテッド
APPLIED MATERIALS, I
NCORPORATED
アメリカ合衆国 カリフォルニア州
95054 サンタ クララ パウアーズ ア
ベニュー 3050

(72)発明者 マイケル イー. ウィルマー
アメリカ合衆国, カリフォルニア州,
ポートラヴァレー, ポートラ ロード
1111

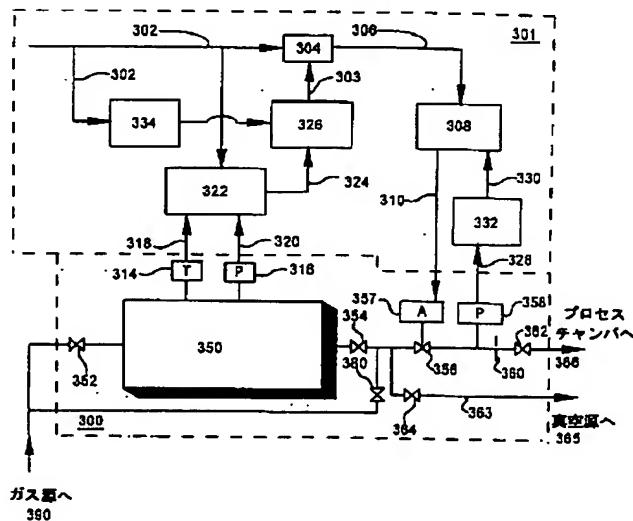
(74)代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外4名)

(54)【発明の名称】 動的ガス流コントローラ

(57)【要約】

【課題】リザーバから半導体プロセスチャンバへのガスの送出を制御するための方法と装置を提供する。

【解決手段】リザーバがレシピステップの開始時にガスで充填され、ガスの温度と圧力が測定されてガスの初期質量が決定される。リザーバからチャンバへのガス流が自己較正式動的流量制御回路に制御された可変流量バルブによって計量される。運転時にはリザーバからガスが放出され、可変流量バルブと音波オリフィスを介してチャンバに当該ガスが向けられる。可変流量バルブは測定ガス流量に応答して動的に制御される。チャンバへのガス流が終了するとガスの最終質量が決定される。ガスの初期値と質量値とが比較されて、ステップ中に放出されたガスの実際の質量が決定される。この値は装置較正定数を更新するために、較正サーボループに入力される。較正サーボループを実行すると、動的サーボループが連続的自己較正される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 既知の容積を有するリザーバから流れるガス流を制御するための方法であって、所望流れ入力信号と較正信号とを第1回路に提供し、被較正流れ入力信号を発生するステップと、前記被較正流れ入力信号を流量制御回路に提供するステップであって、前記流量制御回路が、前記リザーバの下流のガス流路に配置された流量制御バルブへの制御信号を発生して前記ガス流を制御するステップと、リザーバ出口隔離バルブを開くことによって前記リザーバからガスを放出するステップと、前記ガス流路内の前記ガス流を前記流量制御バルブ下流の場所で検出して、該ガス流を示す被測定流量信号を、前記第1制御回路に提供するステップと、前記リザーバ出口隔離バルブが開いている全期間にわたって前記所望流れ入力信号を積分することによって、前記リザーバから放出すべきガスの所望質量を算出し、該所望質量を示す第1信号を発生するステップと、前記出口隔離バルブを開く前の第1時点での前記リザーバ内にあるガスの第1質量を、前記出口隔離バルブを閉じた後の第2時点での前記リザーバ内にある前記ガスの第2質量と比較することによって、前記リザーバから放出されたガスの実際質量を算出して、該実際質量を示す第2信号を発生させるステップと、前記第1信号と第2信号とを比較して、更新された較正信号を発生させるステップと、を備える方法。

【請求項2】 前記リザーバが入口隔離バルブを有しており、前記ガス流が、前記入口隔離バルブが開き且つ前記出口隔離バルブが閉じている間に、前記リザーバを前記ガスで充填すること、前記入口隔離バルブを閉すること、及び、前記出口隔離バルブを開くこと、によって生成される請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記ガスの前記第1質量が前記第1時点と、前記第2質量が前記第2時点と、前記リザーバ内の前記ガスの温度と圧力を測定することによってそれぞれ決定される請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記ガス流を検出する前記ステップが、前記制御バルブの下流地点に配置されたオリフィスの上流地点で前記ガスの圧力を測定することを含む請求項1に記載の方法。

【請求項5】 前記ガス流を検出する前記ステップが、前記制御バルブの下流地点に配置されたオリフィスの上流地点と下流地点とで前記ガスの圧力を測定することを含む請求項1に記載の方法。

【請求項6】 前記更新された較正信号を発生するステップが、PIDコントローラによって実行される請求項1に記載の方法。

【請求項7】 複数の先の第1信号を複数の対応する第

2信号と比較し、比較値の合計を平均することによって前記較正信号が生成される請求項1に記載の方法。

【請求項8】 ガス流制御方法であって、所望ガス流量を表す所望流量入力信号と較正信号とを第1回路に提供して、被較正流れ入力信号を発生させるステップと、前記被較正流れ入力信号を流量制御回路に提供するステップであって、前記流量制御回路が、ガスリザーバ下流のガス流路内に配置された流量制御バルブへの制御信号を発生するステップと、前記リザーバをガスで充填するステップであって、前記リザーバが、既知の容積、入口隔離バルブ及び出口隔離バルブを有し、前記入口隔離バルブが開き且つ前記出口隔離バルブが閉じている間に前記充填が実行されるステップと、前記充填ステップ後に前記入口隔離バルブを閉じるステップと、前記リザーバ内の前記ガスの圧力と温度を測定して、前記リザーバ内の前記ガスの第1質量を決定するステップと、前記出口隔離バルブを第1時点を開いて、前記ガスを前記流路内に放出するステップであって、前記流路が前記流量制御バルブの下流に配置されたオリフィスを有しているステップと、前記流路を通る前記ガスの流量を制御するステップと、前記出口隔離バルブを第2時点で閉じるステップと、前記リザーバ内の前記ガスの第2質量を決定するために前記リザーバ内の前記ガスの圧力と温度を測定するステップと、前記第1時点と前記第2時点の間の全期間にわたって前記所望流れ入力信号を積分することによって、前記リザーバから放出すべきガスの所望質量を算出して、該所望質量を示す第1信号を発生するステップと、前記リザーバ内の前記ガスの前記第1質量と前記第2質量とを比較することによって、前記リザーバから放出されたガスの実際質量を決定し、該実際質量を示す第2信号を発生するステップと、前記第1信号と第2信号とを比較して、更新された較正信号を発生させるステップと、を備え、前記流量を制御するステップが、制御バルブと前記音波オリフィスの間で前記ガスの流量を測定して、該流量を示す被測定流量信号を発生させ、前記被測定流量信号を前記流量制御回路に提供することと、前記被測定流量信号を前記被較正流れ入力信号と比較して、比較値に関係した前記制御信号を発生すること、及び、前記制御信号に応答して前記流量制御バルブのバルブ開度を調節して、前記ガスの流量を制御すること、を含む方法。

【請求項9】 前記ガスの流量を測定するステップが、前記ガスの圧力を前記オリフィスの上流地点で測定することを含む請求項8に記載の方法。

【請求項10】 前記流量制御バルブの前記バルブ開度を調節するステップが、前記制御信号に応答してバルブストローク位置を変化させるアクチュエータに前記制御信号を提供することを含む請求項8に記載の方法。

【請求項11】 前記更新された較正信号を発生させるステップが、P I Dコントローラによって実行される請求項8に記載の方法。

【請求項12】 前記較正信号が、前記所望流量入力信号に対応する少なくとも一つの先に導かれた較正信号を有する前記更新された較正信号を平均することによって生成される請求項8に記載の方法。

【請求項13】 前記ガスを前記流路内に放出する前に前記流路を減圧排気するステップを更に備える請求項8に記載の方法。

【請求項14】 ガス流制御装置であって、入口隔離バルブと出口隔離バルブとを有する既知の容積のリザーバと、圧力信号を発生する、前記リザーバ内のガスの圧力を測定するための圧力測定装置と、温度信号を発生する、前記リザーバ内の前記ガスの温度を測定するための温度測定装置と、制御信号によって制御される、前記出口隔離バルブの下流のガス流路内に配置されたガス流制御バルブと、前記ガス流制御バルブの下流の前記ガス流路内に配置されたオリフィスと、圧力を示す出力流れ信号を発生する圧力測定装置と、前記圧力信号を受け取り、前記オリフィスを通るガス流量を示す流れ信号を出力する変換回路と、前記制御信号を発生するためのガス流制御回路と、を備え、前記ガス流制御装置が、

所望流れ入力信号と較正信号とを受け取るように構成された第1回路であって、前記所望流れ入力信号と前記較正信号とに応答して、被較正流れ入力信号を発生する第1回路と、

前記被較正流れ入力信号を前記流れ信号と比較して、前記制御信号を発生するように構成される第2回路と、前記圧力信号と前記所望流れ入力信号とに応答して前記較正信号を発生するための第3回路と、を備えるガス流制御装置。

【請求項15】 前記第3回路が、前記の温度、圧力及び所望流れ入力の信号に応答して前記較正信号を発生する請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項16】 前記第3回路がP I Dコントローラを備える請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項17】 前記温度測定装置が熱電対を備える請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項18】 前記圧力測定装置が圧力計を備える請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項19】 前記ガス流制御バルブが、前記制御信号に応答してバルブディスク位置を変化させるアクチュエータを含む請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項20】 前記ガス流れセンサが圧力計を備える請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項21】 前記第3回路が、前記所望流れ入力信号に対応する少なくとも一つの先の較正信号を有する前記較正信号を統計的に平均することによって発生する請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項22】 前記ガスを前記ガス流路から減圧排気するための手段を更に含む請求項14に記載のガス流制御装置。

【請求項23】 前記ガス流路から前記ガスを減圧排気するための前記手段が真空ポンプを含む請求項22に記載のガス流制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】 本発明は、一般的には、ガス流を制御するためのガス流装置及び方法に関する。より詳細には、本発明は、プロセスチャンバその他の使用点の場所へのガスの送出を制御するための自己較正式動的ガス流制御方法と装置に関する。

【0002】

【発明の背景】 多くの工業的プロセスでは、使用点の場所に送出される特定質量のガスとガス混合体を高度な精度で制御する必要があることが知られている。特に、半導体処理では、半導体デバイスの製作時に送出されるガスの特定質量を制御することが益々重要になってきている。次世代の半導体デバイスの速度が増すにつれて、また次世代の半導体デバイスの大きさ／寸法が減少するにつれて、次世代の半導体デバイスの製作を支配する精度と制御の程度が高まらなければならぬ。半導体デバイスのアーキテクチャが3サブミクロンスケール(three submicron scale)未満に下がると、半導体業界は、特定質量のガスをプロセスチャンバに送出するための、より精確な方法を見出さなくてはならない。本発明の使用と利益を、ここに半導体処理に関して、また、より詳細にはプロセスチャンバへのガスの送出に関して説明する。しかしながら、かかる説明は単に説示的なものであること、そして本発明は、使用点の場所に送出されるガス質量を精確に制御することが望まれる他の分野に適用できることを認識されたい。

【0003】 半導体プロセスチャンバにガスを送出するための従来技術の方法の一つは、質量流量コントローラ(M F C)の使用を含む。図1は、ガス流を制御するため使用される従来技術の質量流量コントローラ(M F C)を示す。このM F Cは、指定された時間内にプロセスチャンバに特定質量のガスを送出するように較正され

る。例えば、MFCは、100標準立法センチメートル／分（scm）の窒素ガス（N₂）をプロセスチャンバに送出するように較正できる。

【0004】ガス流を制御するために、MFCによって、被加熱検出チューブ（センサ）110と流れ絞りバイパス（バイパス）120との間でガス流が分割される。MFCによって、ガス流は、大部分がバイパス120を通って流れ、一部分がセンサ110を通って流れるように分割される。

【0005】質量流量はセンサ110で測定される。ガス流がヒータコイル（コイル）111を通過すると、ガスは熱を拾って、それをヒータコイル（コイル）112に向けて運ぶ。ガスによる熱の動きは2個のコイル間に温度差を発生させる。コイル111とコイル112は共にヒータだが、ガスの温度を測定する抵抗温度検出器（RTD）としても働く。かくして、ガスがコイル111とコイル112の間に流れると、コイル111とコイル112間の温度変化が測定されて、MFC制御装置130によってガスの質量流量に相関されることができる。

【0006】温度差が測定されて特定ガスの相関質量流量が決められると、制御装置130によって制御バルブ140の位置が調節される。使用される特定ガスに対する所望（又は較正された）流量が得られるように制御バルブ140の位置が設定される。

【0007】プロセスチャンバに特定質量のガスを送出するMFCが係わる方法に伴う一つ問題は、MFC法の精度である。MFCは現在、約5%精度レベルで、実際の較正流量の40～80%で運転するように設計されている。例えば、100scmの流量で較正されたN₂用のMFCについては、上記のように、その特定MFCは40～80scmの範囲の流量でN₂を送出するように設計されている。前記40～80%の範囲外では、MFCの精度レベルは低下する。次世代の半導体デバイスでは、従来技術のMFCよりも、高精度の製作プロセスが必要とされる。

【0008】MFCに伴うもう一つの問題は、それらの動的範囲（ダイナミックレンジ）が制限されていることである。動的範囲とは、最大制御流量と最小制御流量の比である。上記のように、大抵のMFCは約5%の精度を達成するために、実際の較正流量の40～80%で運転するように設計されている。従って、上記装置の動的範囲は約2対1の比に制限される。

【0009】MFCに伴う、もう一つの問題は、大抵のプロセスにおいて、プロセスチャンバへのガスの流れが被制御性を有することが必要とされる点である。多くの用途で、特定レシピ用のガスのすべてをプロセスチャンバに一度に送出することは望ましくない。同様に、プロセスの開始時にガスの少量部分をプロセスチャンバに送出し、プロセスの終わりにガスの大部分をプロセスチャ

ンバに送出すること（又はその反対）も望ましくないだろう。その代わりに、ガスをプロセスチャンバに、制御された率で、そのプロセスの生産性を最適化する方式で送出することが望ましい。MFCの精度は、特定のMFC較正流量の40～80%の範囲外では低下するので、ガスの送出を制御する程度も低下する。

【0010】他の方法と装置が使用点の場所にガスを送出するために使用される。例えば、フィードバック制御ループの制御下での可変流量バルブの使用は、使用点の場所へのガス送出を制御するための一般的な方法である。図2に、フィードバックコントローラ230の制御下で可変流量バルブ210を使用する典型的な従来技術のガス送出装置を示す。ガスは、ガス源から使用点の場所まで、制御信号234に応答してバルブ210のストップ面積を調節することにより送出される。制御信号234は、所望流れ入力信号236と被測定流れ信号220の間の比較結果に応答して発生される。所望流れ入力信号は通常、ユーザインターフェースを介して、又は予めプログラムされたプロセスレシピから提供される。被測定流れ信号220は、可変流量バルブ210の下流地点に配置された流量計その他の流量測定装置220によって生成される。

【0011】時間が経過すると、可変流量バルブ210の流れ定数（CV）は、磨耗や堆積物の増加が原因で変化する。更に、流量測定装置220の出力信号236は、「ドリフト」として知られる現象が原因で、測定される所定の流れに対して時間の経過と共に変化する。流れ定数CVの変化と「ドリフト」の発生は共に流量制御装置の精度を低下させるように作用する。その結果、現状で入手可能なフィードバック流量制御装置は、装置を許容精度範囲内に保つために、時間のかかる再較正手順を頻繁に実施することを必要とする。そのような較正手順は、プロセス休止時間をもたらすと共にその手順の実行に熟練技術者を必要とするのでコストがかかることになる。

【0012】かくして、広い動的範囲にわたって高精度で、ガス流を処理装置に送出できる方法と装置が必要とされる。

【0013】

【発明の概要】リザーバから半導体プロセスチャンバへのガスの送出を制御するための方法と装置を開示する。本発明によれば、出入口隔離バルブと既知の容積を有するリザーバは、プロセスレシピステップが開始されるとガスで充填される。リザーバ内のガスの温度と圧力が測定されて、リザーバ内にあるガスの初期質量が決められる。リザーバからプロセスチャンバへのガス流は、流量制御サーボループ（流量制御回路）と較正サーボループ（較正回路）とを含む自己較正式動的流量制御回路の制御の下で可変流量バルブによって計量される。可変流量バルブは、リザーバと、オリフィスの上流点にあるプロ

セスチャンバとの間のガス流路内に配置されている。運転時、リザーバからガスを放出してそのガスを可変流量バルブと音波オリフィスを通ってプロセスチャンバ内に向けることによって、ガスがプロセスチャンバに送出される。流量制御サーボループを使って、測定ガス流量に応答して可変流量バルブを動的に制御する。プロセスチャンバへのガスの流れが終了すると、リザーバ内にあるガスの温度と圧力が再び測定されて、リザーバ内にあるガスの最終質量が決定される。ガスの初期質量と、ガスの最終質量の値が比較されて、レシピステップ中にリザーバから放出されたガスの実際質量が決定される。この値は、装置の較正定数を更新するために較正サーボループへの入力として役立つ。較正サーボループの実行は、ダイナミックサーボループの連続的な自己較正として役立つ。

【0014】所望流量で流れを開始する指令によって、所望流れ入力信号がゲイン回路に提供される。ゲイン回路は較正サーボループから較正信号を受け取り、所望流れ入力信号を、記憶された公称ガス流量と、対応する電圧設定点に相関させ、電圧設定点値を、被較正所望流れ信号として出力する。この被較正所望流れ信号は流量制御サーボループへの入力として役立つ。被較正所望流れ信号の生成と同時にいくらか前に、リザーバ内にあるガスの温度と圧力を測定してリザーバ内にあるガスの初期質量を決める。被較正所望流れ信号を受け取ると、流量制御サーボループが可変制御バルブの位置を調節し、リザーバ出口隔離バルブを開くことによってリザーバからガスが放出される。オリフィスを通るガスの流量が音速以上の場合は、装置中を流れるガスの流量は、オリフィスの上流で発生する圧力をモニタすることにより測定される。被測定圧力に対応した被測定流れ信号は、流量制御サーボループへの入力として提供される。一方、流量制御サーボ流れループは、被較正所望流れ信号と被測定流れ信号とに応答して可変流量バルブのスロート面積を制御するために流れ制御信号を発生する。

【0015】流れを終了する指令によって、リザーバ出口隔離バルブが閉じられ、リザーバ内のガスの圧力と温度とが測定されてリザーバ内に残留するガスの最終質量が決定される。リザーバから放出されるガスの所望質量は、リザーバ出口隔離バルブが開かれた全期間にわたって所望流れ信号を積分することによって決定される。リザーバ内のガスの最初と最後の質量が分かると、リザーバからプロセスチャンバ内へ放出されるガスの実際質量の正確な計算が可能となる。リザーバから放出るべきガスの所望質量と、リザーバから放出されたガスの実際質量との比較の結果、補正／較正係数が決定される。較正係数をゲイン回路への入力として使用して、いま完了したプロセスステップに対する所望流量に対応する電圧設定点を更新又は調整する。言い換えれば、特定の公称流量に關係する電圧出力設定点は、先に得られた一つ

以上の実際流量と、それに対応する所望流量の差を補償するために各プロセスレシピステップの完了時に更新される。従って、自己較正は、精確に導かれたガス質量値に応答してゲイン回路設定点値を反復更新することによって達成される。

【0016】本発明の、もう一つの実施態様では、リザーバ出口隔離バルブの下流に配置されたガス流路が、リザーバからのガスの放出に先立って減圧排気される。流路の減圧排気は、ガスが最初にリザーバから放出されるときの流れスパイク発生を最少にするのに役立つ。

【0017】本発明の更なる特徴と利益は下記の詳細な説明、図面、及び請求項から明らかになるであろう。

【0018】本発明は、例として添付の図面で示されるが、それに限定されることはない。

【0019】

【実施形態の詳細な説明】リザーバから半導体プロセスチャンバへのガスの送出を制御するための方法と装置を開示する。以下の説明では、本発明の完全な理解を提供するために特定の材料、手段、寸法等の数々の特定の詳細を記載する。しかしながら、当業者には、本発明を実施するために必ずしもこれらの特定の詳細を使用する必要がないことは明らかであろう。他の例では、不必要に本発明を分かり難くするのを避けるために、周知の材料、装置、方法等を詳細には説明しなかった。更に、強調したいのは、本発明は半導体処理に関連して説明しているが、当業者ならば、このような説明は単なる説示的なものであって、本発明の制限を意図するものでないことがよく理解されるであろう。本明細書で説明する特定のプロセスと装置の意図は、もっぱら、本発明の理解の明確化を助けることであり、また本発明が実施可能な特定実施形態を説示することである。付帯する請求項に記述される通り、本発明のより広い趣旨と範囲は、本発明によって達成される成果が要求される任意のタイプのプロセスに適用できることを認識されたい。

【0020】図3は、本発明が利用できるガス送出装置300の概略線図である。一実施形態で、既知の容積を有するリザーバ350から流量制御バルブ356とオリフィス360とを含むガス流路内にガスを放出することによって、半導体プロセスチャンバにプロセスガスが送出される。自己較正式動的ガス流制御回路301は、装置を通るガス流を制御するために、流量制御バルブアクチュエータ357に制御信号を提供する。アクチュエータ357は、サーボモータ、空気圧コントローラ、ソレノイド等を含んでもよい。静電容量式圧力計等の圧力検出装置358を、ガス流路内に設けて、装置を通って流れるガスの圧力をオリフィス360の上流地点で測定する。オリフィス360を通るガス流が臨界状態（すなわち音速以上）のとき、オリフィスの上流にあるガスの圧力は、オリフィスを通るガスの流量に關係する。その場合は、測定ガス流量は、圧力検出装置358で測定され

るオリフィス360の上流の圧力が決まると計算される。オリフィス360を通るガス流が臨界状態でない（すなわち音速未満）とき、オリフィスを通るガス流は、オリフィスの下流の配管内の圧力に影響される。その場合は、オリフィス360を通るガスの流量は、オリフィスの上流と下流の圧力の関数である。

【0021】リザーバ350は、入口隔離バルブ352と出口隔離バルブ354とを含む。ガスは主ガス源390からリザーバ350に送出される。ガスを、ガス源390からリザーバ350を介してプロセスチャンバ366に向けることもできる。代替として、ガスを、リザーババイパスバルブ380を介してプロセスチャンバ366に送出してもよい。リザーバ350は、リザーバ内にあるガスの温度と圧力を測定するために使用される温度測定装置314と圧力測定装置316とを含む。一実施形態において、温度検出装置314は、静電容量式圧力計を備える熱電対兼圧力検出装置316を備える。リザーバ350内の温度と圧力を測定するための何れの装置も本発明のコンセプトに従って使用できることに注意されたい。また、図3では一つの温度測定装置と一つの圧力測定装置しか図示しないが、リザーバ350内のガスの平均の温度又は圧力を決定するためにそれぞれの装置を2個以上使用できることも当然である。加えて、リザーバ350の大きさ（又は寸法）によっては、温度と圧力の測定装置の配置や位置決めを、リザーバ350の中央部、壁等でのガスの温度と圧力を決定するために様々に変えてよい。

【0022】装置隔離バルブ362がガス送出装置配管内に含まれており、ガス送出装置とプロセスチャンバ366との間を隔離している。一実施形態において、真空源365がバルブ354と356との間でガス送出装置配管に連結されている。真空源を用いて、チャンバ366へのガス流の開始に先立って、ガス送出装置配管からガス及び／又は空気が減圧排気される。プロセスチャンバへのガス流の開始に先立って、ガス送出装置配管を減圧排気するプロセスは、従来のガス送出装置に固有の、流れスパイク（flow spikes）を最小にする。バルブ364を用いて、真空源365がガス送出装置から隔離されている。一実施形態において、真空源365は真空ポンプを備えている。エダクタ、又は当該技術分野で公知の多数の他のガス排気装置の何れかが、捕捉されたガス及び／又は空気をガス送出装置配管から除去するために使用できる。真空源365は、バルブ354と356間でガス送出装置配管に連結されるように図示されているが、真空源をバルブ354とバルブ362間の任意の地点でガス送出装置配管に連結できることを認識されたい。

【0023】リザーバ350からプロセスチャンバ366へのガス流は、自己較正式動的流量制御回路301に制御される可変流量制御バルブ356によって計量され

る。一実施形態において、流量制御回路301は、流量制御サーボループ（流量制御回路）308と較正サーボループ（較正回路）326とを備えている。流量制御バルブ356の位置は、制御信号310を流量制御回路308から受け取るアクチュエータ357によって変化される。

【0024】本発明によれば、リザーバ350は、プロセスレシピステップの開始と同時にガスで充填される。既知の容積を有するリザーバ350は、出口隔離バルブ354を閉じて入口隔離バルブ352を開くことによってガスで充填される。リザーバ350がガスで充たされた後、入口隔離バルブ352が閉じられる。次に、リザーバ350内のガスの温度と圧力とが測定されて、レシピステップの最初にリザーバ内にあるガスの初期質量が決定される。温度検出装置314は、演算回路322への入力として使用される温度信号318を発生させる。圧力検出装置316は、これも回路322への入力として使用される圧力信号320を発生させる。センサ314と316から初期温度信号318と初期圧力信号320を受け取ると、回路322によって、ガスの状態方程式を使ってリザーバ350内にあるガスの初期質量が決定される。

【0025】プロセスガスは、隔離バルブ354と362を開いてリザーバ350からのガスを放出することによって、チャンバ366に送出される。プロセスチャンバ圧力は、リザーバ350のガス圧力よりも低圧状態にある。従って、バルブ354と362を開くことによって、ガス流は、制御バルブ356とオリフィス360を通ってプロセスチャンバ366に向けられる。流量制御サーボループ308を用いて、被測定ガス流量信号330と、被較正所望流れ入力信号306とに応答して流量制御バルブ356の位置が動的に制御される。先に検討したように、オリフィス360の上流地点で測定されたガス圧力は、流量が音速以上のときの、オリフィスを通過するガスの流量に関係する。一実施形態において、圧力検出装置358で測定した圧力とガス流量との間の相関は線形化されて、オリフィス線形化回路332内に記憶される。このような実施形態では、装置350によって生じた圧力信号328が、回路332への入力として使用される。回路332によって、圧力信号328が、流量制御サーボ308への入力として働く被測定流れ信号330に変換される。被較正所望流れ入力信号306は、ゲイン回路304によって流量制御サーボ308に提供される。第2圧力検出装置370は、図4に示すように、オリフィス360の下流地点に配置されてもよい。このようにして、オリフィス360を跨ぐ差圧が決定されて、回路332への入力として使用され得る。このような実施形態で、回路332によって、差圧信号372は、流量制御サーボ308への入力として役立つ被測定流れ信号330に変換される。

【0026】所望流量で流れを開始する命令によって、所望流れ入力信号302がゲイン回路304に提供される。ゲイン回路304は、較正サーボループ326から較正信号303を受け取って、所望流れ入力信号を、記憶された公称ガス流量と、対応する電圧設定点に相関させ、電圧設定点値を、被較正所望流れ入力信号306として出力する。上記のように、被較正所望流れ入力信号306は、流量制御サーボループ308への入力として役立つ。被較正所望流れ入力信号306を受け取ると、流量制御サーボループ308は、信号306と330とを比較して、流量制御バルブ356の位置を調節するための制御信号310を発生させる。

【0027】プロセスレスピスティップが完了すると、リザーバ350からプロセスチャンバ366へのガス流は、リザーバ出口隔離バルブ354と装置隔離バルブ362を閉じることによって終了される。リザーバ350内にあるガスの温度と圧力が再び測定され、リザーバ内にあるガスの最終質量が決定される。温度と圧力の測定値は、温度検出装置314と圧力検出装置316とによって得られる。リザーバ350内にあるガスの最終質量は回路322によって算出される。回路322によって、リザーバ内にあるガスの初期質量とガスの最終質量とが比較されて、レスピスティップ中にリザーバから放出されるガスの実際質量を表す出力信号324が発生される。バルブ354と362と間に位置する配管内に少量のガスが捕捉されているので、チャンバ366に送出されるガスの実際量の決定時に、配管内にあるガスの量を補償するように回路322を構成してもよい。大きな体積流量の場合は、バルブ354とバルブ362と間の配管内に捕捉されるガスの量は重要ではないだろう。そのような状況において、チャンバ366に実際に送出されるガス量の決定時に、捕捉されたガスを補償する必要はないだろう。信号324は較正サーボループ326への入力として役立つ。

【0028】レスピスティップ中にリザーバ350から放出すべきガスの所望量に対応する信号は、レスピスティップ中にリザーバ出口隔離バルブ354が開いている全期間にわたって所望流れ入力信号302を積分することにより決定される。積分回路334は積分機能を実行して、いま完了したプロセスレスピスティップ中に放出すべきガスの所望量を表す信号336を発生させる。リザーバから放出すべきガスの所望量（信号336）と、リザーバから放出されたガスの実際質量（信号324）との比較によって、較正サーボループ326によって決定される補正／較正信号303が決められる。一実施形態において、較正サーボループ326は比例積分微分（P I D）コントローラを備えている。較正信号303はゲイン回路304への入力として使用されて、いま完了したプロセスステップのための所望流量に対応する電圧設定点が更新又は調整される。言い換えれば、特定公称流量

に關係した電圧出力設定点が、各プロセスレスピスティップの完了と同時に更新されて、先に導かれた一つ以上の実際流量と、その対応する所望流量との差が補償される。従って、自己較正は、精確に導かれたガス質量値に応答してゲイン回路設定点値を反復更新することによって達成される本発明は、レスピスティップ中に、プロセスチャンバへ送出されるガスの実際質量を決定する際に、精確に導かれた値を使用するので、装置較正定数の算出は、ガス送出装置性能の絶対的で独立した基準として役立つ。例えば、オリフィス360と流量制御バルブ356の流れ定数CVは、熱的影響、磨耗、及び粒子集積が原因で、時間の経過と共に変化することが知られている。更に、容量式圧力計358等の計測装置の出力信号は、時間の経過と共に、流れサーボループ308の精度に悪影響を及ぼすドリフトを経験することも知られている。本発明は、ガス送出装置レスピ要素に固有の変数からは独立した装置較正定数を確定できるので、本発明は、MFCその他従来型流量制御装置を使用して得られる精度よりもはるかに高精度でガス流量を制御する能力を有している。その上、ガス流量送出装置の動的範囲（最小制御ガス流量に対する対最大制御ガス流量の比）は、従来技術の方法よりも大きく向上している。例えば、従来の流量制御装置の動的範囲は10/1以下である。200/1以上の範囲の動的範囲が、本発明のガス流量送出装置と方法で達成されるであろう。

【0029】一部の例では、リザーバ350をバイパスすることが望ましいこともある。そのような場合、ガスはリザーババイパスバルブ380を通り、制御バルブ356を介してプロセスチャンバ366に送出してもよい。リザーバ350をバイパスするときは、先に導かれた計算値を他の制御パラメータと共に使用して、流量制御バルブ356を通るガス流を制御する。

【0030】上記の説明では、自己較正式動的流量制御装置301を、互いに関連して動作して被較正流量制御信号を発生させる各種回路を含むように説明した。本発明が制御装置レスピ要素の特定セットの使用に限定されないことを認識されたい。例えば、従来の電気／電子スイッチング技術と従来のソリッドステートマイクロプロセッサ技術とを使用して、本発明の方法によってガス流を制御してもよい。そのような要素はコンピュータ又はマイクロプロセッサ、ディジタル信号プロセッサ、ファームウェア、ディジタルハードウェア、離散型ハードウェア、ソフトウェアルーチン、プログラマブルハードウェア又は集積回路、出力信号アンプ、記憶メモリ等を含んでもよい。一実施形態において、制御装置301は、プロセスレスピスティップ開始時における制御バルブ356の初期位置決め時の援けとなるルックアップテーブルも含む。このルックアップテーブルは、送出される特定プロセスガスに関する較正情報と、リザーバ350内にあるプロセスガスの初期温度と圧力が与えられたとき

制御装置301による制御バルブ356の初期位置の確定を可能にする制御バルブ位置に関する較正情報と、を含む。当業者には、リザーバ入口隔離バルブ352、リザーバ出口隔離バルブ354、装置隔離バルブ362、及び真空バージバルブ364が、同一の制御装置、又は別の制御装置によって自動的に作動できることも自明であろう。一実施形態において、制御装置301は、制御バルブ356と共に、入口隔離バルブ352と出口隔離バルブ354とをそれぞれ作動させる。

【0031】先の説明は、リザーバ内にあるガスの初期質量とガスの最終質量を決定するために、温度測定を利用することを含んでいた。そのような温度測定は、ガス送出装置が等温状態で運転される場合には必要がないことを認識されたい。従って、リザーバ350内のガスの温度が温度制御装置その他の装置によって一定に保たれる場合、上記のようにガスの温度を測定する必要はない。

【0032】オリフィス360のサイズ、流量制御バルブ356のスロート（流れ面積）のサイズ、及びリザーバ350のサイズは、ガス送出装置の特定の流れ要件によって変えてよい。一実施形態において、ガス送出装置レシピ要素は、上流オリフィス360の位置で2~10 p s i aの圧力を保つように寸法決めされて制御される。オリフィス上流で圧力を制御することによって、ユーザは装置の動的制御範囲を制御することが可能になる。

【0033】図6は、本発明によるプロセスレシピステップ中に、リザーバ350からプロセスチャンバ366へのガス流を制御するために使用される方法を表すフローチャートを示す。プロセスレシピステップが開始されると、所望流れ入力信号302と較正信号306とが流量制御回路308に提供されて、被較正所望流れ入力信号310が発生される。被較正所望流れ入力信号310の発生と同時に少しあり立ってリザーバ350が充填され、リザーバ内のガスの温度と圧力が、リザーバ内にあるガスの初期質量を決定するために測定される。被較正所望流れ入力信号が受け取られると、流量制御回路308によって制御信号が流量制御バルブ356に提供されて、流量制御バルブの位置が調節される。リザーバ350からプロセスチャンバ366へのガス流は、リザーバ出口隔離バルブ354と装置隔離バルブ362とを開くことによって開始される。ガスの流量は、音波オリフィス360の上流地点でガスの圧力を検出することによって測定される。圧力検出装置358によって測定された圧力に対応する被測定流れ信号330が、回路308に提供される。プロセスレシピステップが完了すると、リザーバ350からプロセスチャンバ366へのガス流は、リザーバ出口隔離バルブ354を閉じることによって終了される。リザーバ350内に残るガスの最終質量は、リザーバ内のガスの温度と圧力を再び測定する

ことによって決定される。次いで、リザーバから放出されたガスの実際質量が、初期質量計算から最終質量計算を差し引くことによって算出される。この計算を表す実際質量信号324が較正回路326に提供される。リザーバ350から分配されたガスの実際質量の決定に関連して、いま完了したレシピステップに要求されるガスの所望質量が、リザーバ350からプロセスチャンバ366内に放出された全期間にわたって所望流れ入力信号を積分することによって計算出される。この機能は通常、ガス要求信号336を発生する積分回路334によって実行される。所望ガス質量信号336は較正回路326への入力としても役立てられる。信号324と336を受け取ると、較正回路326は、更新された装置較正係数を決定して、信号324と336の間の比較に関係する較正信号303を発生させる。更新された較正信号303は次に、後続のプロセスレシピステップで使用されて、所望流れ入力信号302が、被較正所望流れ入力信号306に調節される。

【0034】一実施形態において、隔離バルブ354と362の間に配置されたガス送出装置300の一部が、リザーバ350からチャンバ366へのガス流の開始に先立って減圧排気される。装置からのガス及び／又は捕捉空気の減圧排気は、バージ隔離バルブ364を開くことによって達成されて、真空ポンプその他の真空源による装置上への真空の引込みが可能となる。前述のように、流路の減圧排気は、ガスがリザーバからプロセスチャンバ内に最初に放出されるときの流れスパイクの発生の最少化に役立つ。

【0035】上記の説明はガス送出装置と方法に限定され、その中でガスは既知の容積のリザーバから単一のガス流チャネルに送出される。しかしながら、本発明のガス送出装置は、単一ガス流量コントローラを通るガスの送出に限定されないことを認識されたい。図5は、本発明の教示を使用して、リザーバ550から複数のガス流チャネル570と572にガスを送出するガス流制御装置を示す。図5は、二つの独立した流れチャネル570と572を含むガス流制御装置を示すが、本発明はそのような実施形態に限定されず、一つ以上のプロセスチャンバに接続された任意数のガス流チャネルを含んでよいことを認識されたい。

【0036】図5の装置では、プロセスガスをリザーバからガス流チャネル570又は572の何れかにガスを放出することによって、ガスをリザーバ550からプロセスチャンバ566aか566bの何れかにそれぞれ送出することができる。ガス源590か多重ガス源（590と594）によってリザーバ550にガスが送出される。一部の例では、ガスを最初にリザーバ550を通すことなく、ガス流チャネル570又は572の何れかを通してガスを向けることが望ましい場合もある。そのような流れ系(scheme)を許容するためには、リザーババイ

パスバルブ580aと580bがガス送出配管内に設けられる。ガス流チャネル570は、隔離バルブ555a、流量制御バルブ556a、圧力検出装置558a、オリフィス560a、及び装置隔離バルブ562aを含む。同様に、ガス流チャネル572は、隔離バルブ555a、流量制御バルブ556b、圧力検出装置558b、オリフィス560b、及び装置隔離バルブ562bを含む。第2圧力検出装置(図示せず)を、オリフィス560aと560bの下流地点で両ガス流チャネル570と572内に含めてもよい。本発明によれば、自己較正式動的ガス流制御回路501によって、制御信号510a又は510bが流量制御バルブアクチュエータ557aか557bの何れかに提供されて、プロセスチャンバ566a又は566bへのガス流がそれぞれ制御される。

【0037】リザーバ550は、入口隔離バルブ552と出口隔離バルブ54とを含む。リザーバ550は、リザーバ内にあるガスの温度と圧力の測定に使用される温度測定装置514と圧力測定装置516も含む。

【0038】リザーバ550からプロセスチャンバ566aへのガス流が望ましいときは、ガス流は、アクチュエータ557aに制御された可変流量制御バルブ556aによって計量される。逆に、リザーバ550からプロセスチャンバ566bへのガス流が望ましいとき、ガス流は、アクチュエータ557bに制御された可変流量制御バルブ556bによって計量される。二つの流量制御サーボループ508a、508bが回路501内に含まれており、制御信号510a又は510bを、アクチュエータ557a又は557bにそれぞれ提供している。各流量制御サーボループ508aと508bは、図3で説明される流量制御サーボループ308と同様に機能する。流量制御サーボループ508aは、較正信号506aと被測定ガス流量信号530aとを入力として受け取る。オリフィス線形化回路532aは、被測定圧力信号528aに応じて信号530aを発生する。流量制御サーボループ508bは、較正信号506bと被測定ガス流量信号530bとを入力として受け取る。オリフィス線形化回路532bは、被測定圧力信号528bに応答して信号530bを発生する。

【0039】本発明の一実施形態によれば、リザーバ550は、プロセスレシピステップの開始と同時にガスで充填される。既知の容積のリザーバ550は、出口隔離バルブ554を閉じて入口隔離バルブ552を開くことによって、ガスで充填される。リザーバ550がガスで充填された後、入口隔離バルブ552が閉じられる。次に、リザーバ550内のガスの温度と圧力が測定されて、レシピステップ開始時にリザーバ内にあるガスの初期質量が決定される。温度検出装置514によって、演算回路522への入力として使用される温度信号518が発生される。圧力検出装置516によって、これも回路522への入力として使用される圧力信号520が発

生される。センサ514と516とから初期温度信号と圧力信号518と520とがそれぞれ受け取られると、回路522によって、ガスの状態方程式を用いて、リザーバ550にあるガスの初期質量が、決定される。

【0040】プロセスガスは、リザーバ550を介して、プロセスチャンバ566aか566bの何れかに送出してよい。例えば、ガスは、リザーバ出口隔離バルブ554とガス流チャネル570の隔離バルブ555aと562aを開いてリザーバ550からガスを放出することによって、プロセスチャンバ566aに送出される。プロセスチャンバ圧力はリザーバ550内のガス圧力より低圧状態にあるので、ガス流は、制御バルブ556aとオリフィス560aを通ってプロセスチャンバ566aに向けられる。流量制御サーボループ508aを使用して、被測定ガス流量信号530aと、被較正所望流れ入力信号506aに応じて流量制御バルブ556aの位置を動的に制御する。オリフィス560aを通過するガスの流量が音速より大きいときは、圧力検出装置558aで測定されるガス圧力はオリフィス560aを通過するガスの流量に関係する。一実施形態において、圧力検出装置558aで測定された圧力と、ガス流量との間の相関は線形化されて、オリフィス線形化回路532a内に記憶される。このような実施形態において、装置558aによって生成された圧力信号528aは、回路532aへの入力として使用される。回路532aによって圧力信号528aが、流量制御サーボ508aへの入力として役立つ被測定流れ信号530aに変換される。被較正所望流れ入力信号506aは、ゲイン回路504aによって流量制御サーボ508aに提供される。上記のように、第2圧力検出装置(図示せず)を、オリフィス560aを跨ぐ差圧が決定されて回路532への入力として使用できるように、オリフィス560aの下流地点に配置してもよい。そのような実施形態では、差圧信号は回路532によって受け取られて、その信号は、流量制御サーボ508aへの入力として役立つ被測定流れ信号530aに変換される。

【0041】所望流量でプロセスチャンバ566aへの流れを開始する指令によって、所望流れ入力信号502aがゲイン回路504aに提供される。逆に、ガス流が流れチャネル572を介してプロセスチャンバ566bに向けられるように選ばれると、信号502bがゲイン回路504bに提供される。ガス流チャネル570がリザーバ550からのガス流を受け取るように選択されると、ゲイン回路504aは較正サーボループ526からマルチプレクサ507を介して較正信号503を受け取り、所望流れ入力信号が、記憶された公称ガス流量と、対応する電圧設定点に相關されて、電圧設定点値が、被較正所望流れ信号506aとして出力される。マルチプレクサ507は、リザーバ550からガスを受け取るように選択された流れチャネルに依存しており、ゲイン回

路504aか504bの何れかに信号503が向けられる。上記のように、被較正所望流れ入力信号506aは流量制御サーボループ508aへの入力として役立つ。被較正所望流れ入力信号506aを受け取ると、流量制御サーボループ508aは信号506aと530aとを比較して、流量制御バルブ556aの位置を調節するための制御信号510aが発生される。

【0042】プロセスレシピステップが完了すると、リザーバ550からプロセスチャンバ566aへのガス流は、リザーバ出口隔離バルブ554aとチャネル隔離バルブ555a及び562aを閉じることによって終了される。リザーバ550内にあるガスの温度と圧力が再度測定されて、リザーバ内にあるガスの最終質量が決定される。温度と圧力の測定は、温度と圧力検出装置514と516によって得られる。リザーバ550内にあるガスの最終質量は、回路522によって算出される。回路522によって、リザーバ内にあるガスの初期質量とガスの最終質量とを比較して、レシピステップ中にリザーバから放出されるガスの実際質量を表す出力信号524が発生される。バルブ554aと562a間に配置された配管内には少量のガスが捕捉されているので、回路522は、チャンバ566aに送出されたガスの実際量を決定するときに配管内にあるガスの量が補償されるように構成されてもよい。信号524は較正サーボループ526への入力として役立つ。

【0043】レシピステップ中にリザーバ550から放出すべきガスの所望量に対応する信号は、レシピステップ中にリザーバ出口隔離バルブ554aが開かれていた全期間にわたって、所望流れ入力信号502aか502bの何れかを積分することによって決定される。マルチプレクサ505は、リザーバ550からガスを受け取るように選択されたガス流チャネルに依存して、信号502aか502bの何れかを積分回路534に向けるように選択され得ることもできる。積分回路534は積分機能を実行し、いま完了したプロセスレシピステップ中に放出すべきガスの所望量を表す信号536を発生する。リザーバから放出すべきガスの所望質量（信号536）と、リザーバから放出されたガスの実際質量（信号524）との比較によって、較正サーボループ526によって決定される補正／較正信号503が決定される。先に検討したように、較正信号503は、マルチプレクサ507を介してゲイン回路504aか504bの何れかに提供される。一実施形態において、較正サーボループ526は比例積分微分（P I D）コントローラを備えている。較正信号503をゲイン回路504aへの入力として用いて、いま完了したプロセスステップのための所望流量に対応した電圧設定点が更新又は調節される。言い換えれば、特定公称流量に関係する電圧出力設定点が各プロセスレシピステップの完了と同時に更新されて、先に導かれた一つ以上の実際流量と、その対応する所望流

量との差が補償される。従って、自己較正は、精確に導かれたガス質量値に応答してゲイン回路設定点値を連続的に更新することによって達成される。ゲイン回路504aは、更新された設定点値を記憶するための記憶装置を含む。リザーバ550からプロセスチャンバ566bへのガス流も同様に制御される。プロセスチャンバ566bが、リザーバ550からのガス流を受け取るようを選択されたときは、マルチプレクサ505によって信号502bが積分回路534に向けられて、マルチプレクサ507によって較正信号503がゲイン回路504bに向けられる。

【0044】本発明の一実施形態によれば、ガス流をリザーバ550から一方のガス流チャネル（570又は572）が送出されると、その間、同じガスか別のガスが他方のガス流チャネルに送出される。例えば、ガス源590からのガスが、リザーバ550を介してリザーバ566aに向けられている間、ガス源594からの別のガスがプロセスチャンバ566bに送出されてもよい。隔離バルブ598がガス源隔離バルブ592と596との間に設けられる。そのような実施形態では、充填リザーバ550とバルブ598が閉じている間、ガス源隔離バルブ592は開いている。ガスは、リザーバ出口隔離バルブ554とチャネル入口隔離バルブ555aを開くことによって、リザーバ550から流れチャネル570を介して向けられる。ガスがプロセスチャンバ566aに送出されている間に、別のガスが流れチャネル572を介してプロセスチャンバ566bに送出される。ガスは、ガス源隔離バルブ596とリザーババイパスバルブ580bを開くことによって、流れチャネル572に送出される。このようにして、流れを、流れチャネル570と572を介してプロセスチャンバ566aと566bに、それぞれ同時に向けてもよい。流れチャネル570を通るガス流は、上記の自己較正流量制御方法に従って流量制御バルブ556aによって制御されて、流れチャネル572を通るガス流は、先に導かれた較正值を使って流量制御バルブ556bによって制御される。図5は、二つのガス源と二つのガス流チャネルを有するガス流装置を示すが、本発明の精神と範囲から逸脱することなく、任意数のガス源とガス流チャネルがガス送出装置に組み込まれ得ることを認識されたい。

【0045】一実施形態において、真空源565がリザーバ出口隔離バルブ554とガス流チャネル隔離バルブ555a、555bとの間でガス送出装置配管に連結されている。真空源を用いて、チャンバ566aか566bの何れかへのガス流の開始に先立って、ガス送出装置配管からガス及び／又は空気が減圧排気される。バルブ564を用いて、ガス送出装置から真空源565が隔離される。真空源565を、流れチャネル隔離バルブ555a、555bの下流直下地点でガス送出装置配管に連結されるように図示したが、真空源は、リザーバ隔離バ

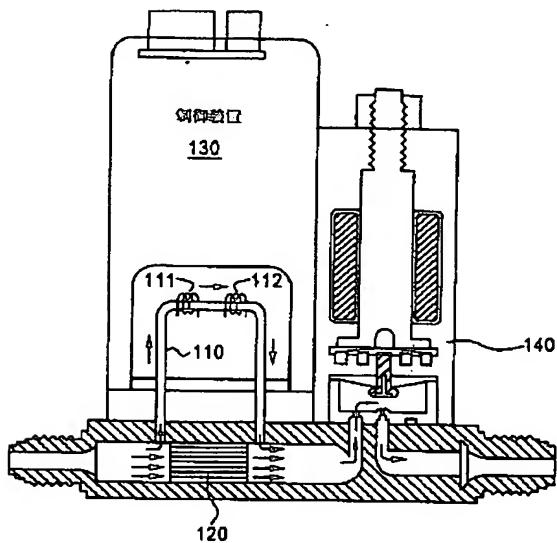
ルブ555a及び555bと、チャンバ566a及び566bとの間の任意地点でガス送出装置配管に連結され得ることを認識されたい。

【0046】本発明の多数の代替例及び変更例は、上記を一読した当業者には恐らく自明となるであろう。説明として図示、記載した様々な実施形態を決して制限的なものと見做してはならないことが理解されるべきである。従って、様々な実施形態の詳細な参考的記述は、本質的に本発明に不可欠と見做される特徴のみを列挙した請求項の範囲を限定するものではない。

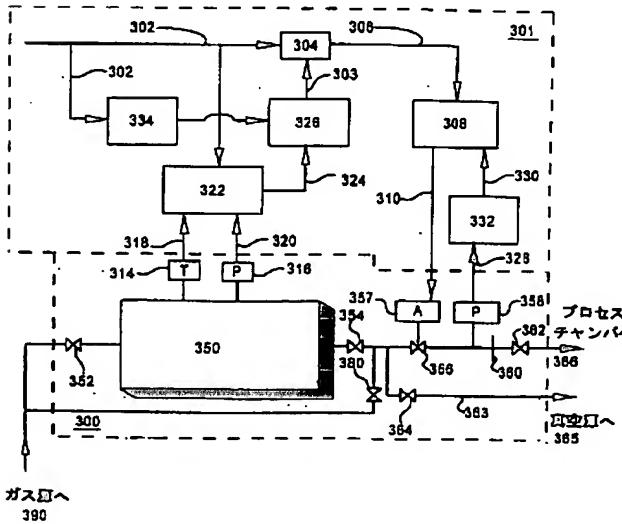
【図面の簡単な説明】

【図1】ガス流の制御のために使用される従来技術の質

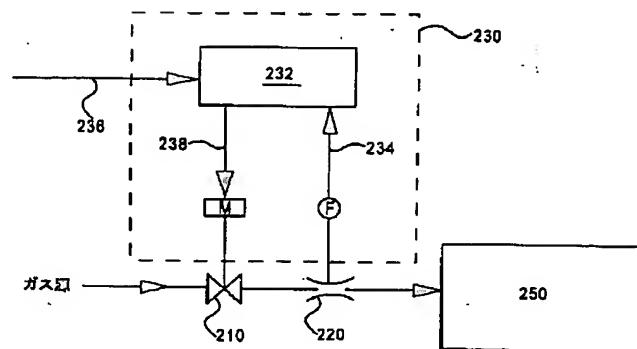
【図1】



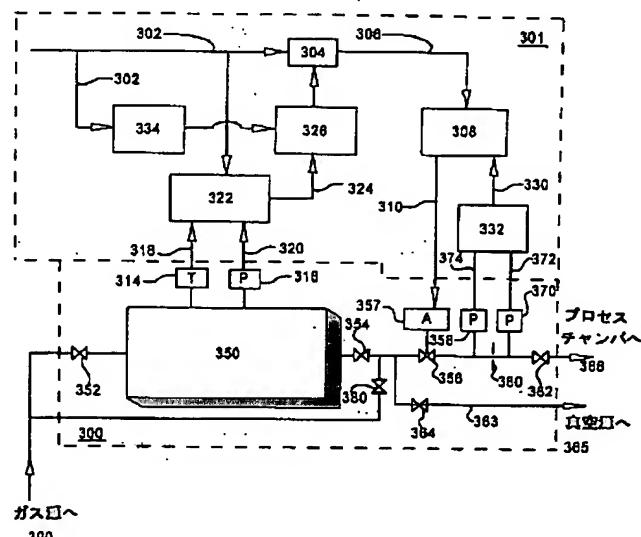
【図3】



【図2】



【図4】



量流量コンローラ（MFC）を示す図である。

【図2】代表的な従来技術のガス送出装置を示す図である。

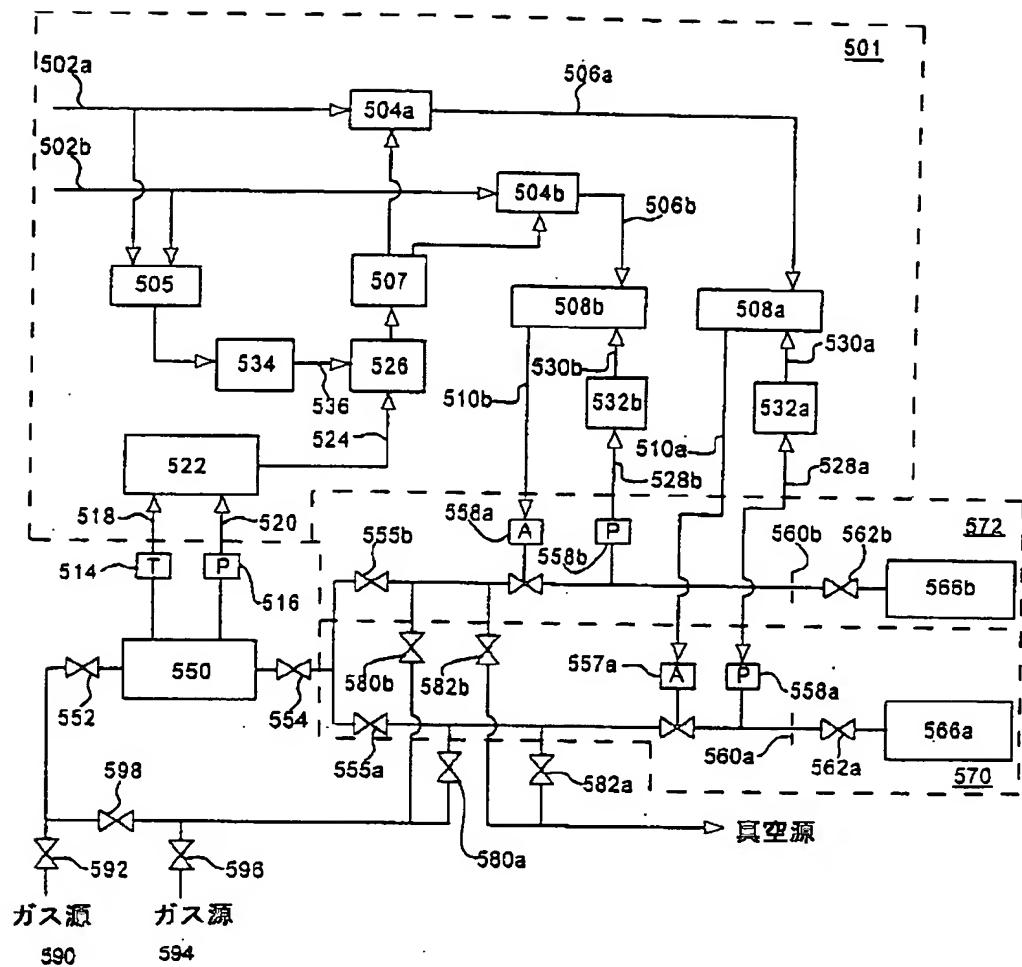
【図3】本発明の一実施形態の概略線図を示す図である。

【図4】本発明の別の実施形態の概略線図を示す図である。

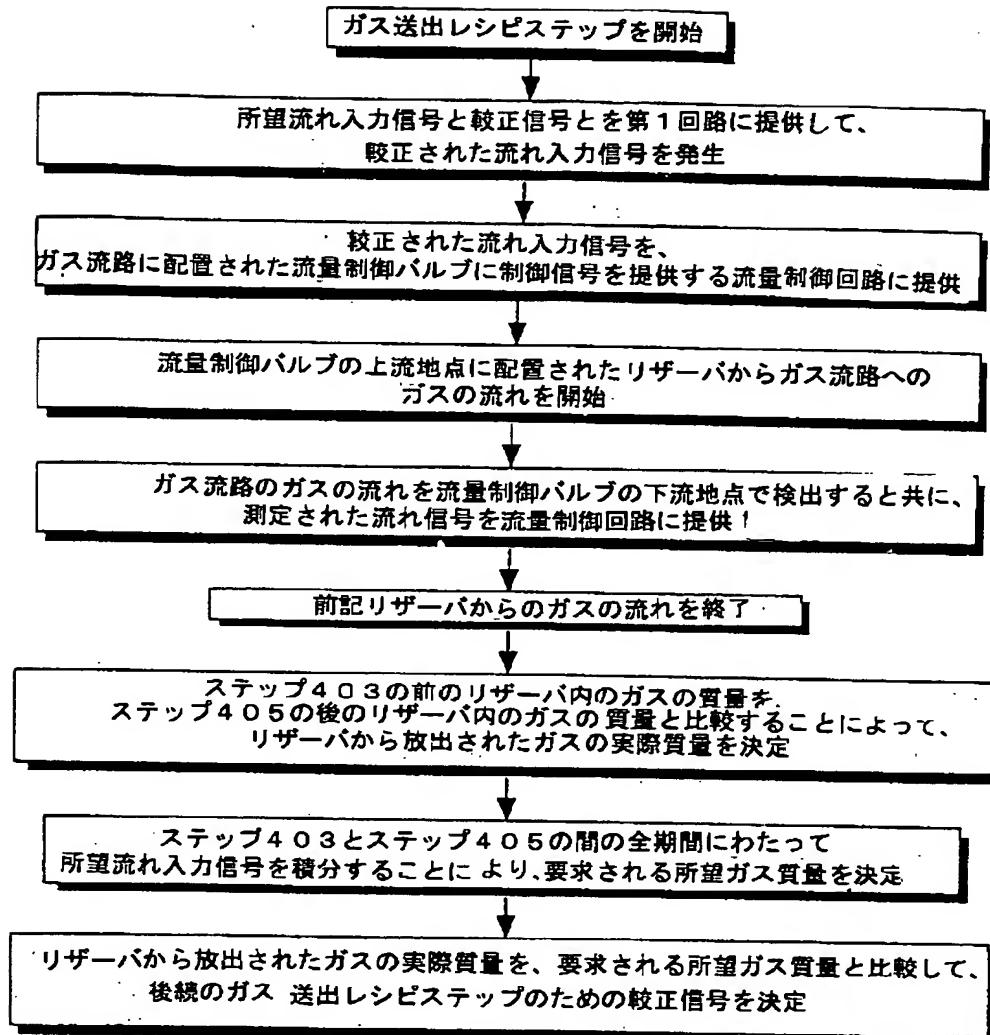
【図5】本発明の更に別の実施形態の概略線図を示す図である。

【図6】本発明の一実施形態のフローチャートを示す図である。

【図5】



【図6】



【外国語明細書】

1. Title of Invention

DYNAMIC GAS FLOW CONTROLLER

登録番号：P 9.8 AM-062

(2/34)

2. Claims

What is claimed is:

1. A method for controlling a gas flow out of a reservoir of a known volume comprising the steps of:
 - providing a desired flow input signal and a calibration signal to a first circuit and producing a calibrated flow input signal,
 - providing said calibrated flow input signal to a flow control circuit, said flow control circuit producing a control signal to a flow control valve located in a gas flow path downstream of said reservoir to control said gas flow;
 - releasing a gas from said reservoir by opening a reservoir outlet isolation valve;
 - sensing said gas flow in said gas flow path at a location downstream of said flow control valve and providing a measured flow signal indicative thereof to said first control circuit;
 - calculating a desired mass of gas to be released from said reservoir by integrating said desired flow input signal over a period of time in which said reservoir outlet isolation valve is open and producing a first signal indicative thereof;
 - calculating an actual mass of gas released from said reservoir by comparing a first mass of gas residing in said reservoir at a first time prior to opening said outlet isolation valve, to a second mass of said gas residing in said reservoir at a second time after said output isolation valve is closed, and producing a second signal indicative thereof; and
 - comparing said first and second signals to produce an updated calibration signal.

整理番号：P 9,8 AM-062

(3 / 34)

2. The method of claim 1 wherein said reservoir has an inlet isolation valve, said gas flow being produced by

filling said reservoir with said gas while said inlet isolation valve is open and said outlet isolation valve is closed;
closing said inlet isolation valve; and
opening said outlet isolation valve.

3. The method of claim 1 wherein said first mass and said second mass of said gas is determined by measuring the temperature and pressure of said gas in said reservoir at said first and second time, respectively.

4. The method of claim 1 wherein the step of sensing said gas flow includes measuring the pressure of said gas at a point upstream an orifice that is located at a point downstream of said control valve.

5. The method of claim 1 wherein the step of sensing said gas flow includes measuring the pressure of said gas at a point upstream and a point downstream of an orifice that is located at a point downstream of said control valve.

6. The method of claim 1 wherein the step of producing said updated calibration signal is performed by a PID controller.

整理番号：P 9.8 AM-062

(4/34)

7. The method of claim 1 wherein said calibration signal is produced by comparing a plurality of previous first signals with a plurality of corresponding second signals and averaging the sum of the comparisons.

8. A gas flow control method comprising the steps of:
providing a desired flow rate input signal representing a desired gas flow rate and a calibration signal to a first circuit to produce a calibrated flow input signal;
providing said calibrated flow input signal to a flow control circuit, said flow control circuit producing a control signal to a flow control valve located in a gas flow path downstream of a gas reservoir;
filling said reservoir with a gas, wherein said reservoir has a known volume, an inlet isolation valve, an outlet isolation valve and wherein said step of filling is performed while said inlet isolation valve is open and said outlet isolation valve is closed;
closing said inlet isolation valve after said filling step;
measuring the pressure and temperature of said gas in said reservoir to determine a first mass of said gas in said reservoir;
opening said outlet isolation valve at a first time to release said gas into said flow path, said flow path having an orifice located downstream of said flow control valve;
controlling the flow rate of said gas through said flow path, wherein the step of controlling said flow rate includes
measuring the flow rate of said gas between said control valve and said sonic orifice to produce a measured flow rate signal

整理番号：P 9.8 A.M - 062

(5/34)

Indicative thereof and providing said measured flow rate signal to said flow control circuit;

comparing said measured flow rate signal to said calibrated flow input signal to produce said control signal relating to this comparison; and

adjusting a valve opening of said flow control valve in response to said control signal to control the flow rate of said gas;

closing said outlet isolation valve at a second time;

measuring the pressure and temperature of said gas in said reservoir to determine a second mass of said gas in said reservoir;

calculating a desired mass of gas to be released from said reservoir by integrating said desired flow input signal over a period of time between said first time and said second time, and producing a first signal indicative thereof;

determining an actual mass of gas released from said reservoir by comparing said first mass and said second mass of said gas in said reservoir, and producing a second signal indicative thereof; and

comparing said first and second signals to produce an updated calibration signal.

9. The method of claim 8 wherein the step of measuring the flow rate of said gas includes measuring the pressure of said gas at a point upstream said orifice.

10. The method of claim 8 wherein the step of adjusting said valve opening of said flow control valve includes providing said control signal to an actuator that changes a valve throat position in response to said control signal.

整理番号：P 9.8 AM-062

(6/34)

11. The method of claim 8 wherein the step of producing said updated calibration signal is performed by a PID controller.

12. The method of claim 8 wherein said calibration signal is produced by averaging said updated calibration signal with at least one previously derived calibration signal corresponding to said desired flow rate input signal.

13. The method of claim 8 further comprising the step of evacuating said flow path prior to releasing said gas into said flow path.

14. A gas flow control apparatus comprising:
a reservoir of a known volume having an inlet isolation valve and an outlet isolation valve;
a pressure measuring device for measuring the pressure of a gas in said reservoir, said pressure measuring device producing a pressure signal;
a temperature measuring device for measuring the temperature of said gas in said reservoir, said temperature measuring device producing a temperature signal;
a gas flow control valve located in a gas path downstream of said outlet isolation valve, said fluid flow control valve controlled by a control signal;
an orifice located in said gas path downstream of said gas flow control valve;
a pressure measuring device that produces an output flow signal indicative thereof;

整理番号：P 9 8 A.M—0 6 2

(7/34)

a conversion circuit that receives said pressure signal and outputs a flow signal indicative of the gas flow rate through said orifice; and

a gas flow control circuit for generating said control signal, said gas flow control circuit comprising

a first circuit configured to receive a desired flow input signal and a calibration signal, said first circuit for producing a calibrated flow input signal in response to said desired flow input signal and said calibration signal;

a second circuit configured to compare said calibrated flow input signal with said flow signal to produce said control signal; and

a third circuit to produce said calibration signal in response to said pressure and desired flow input signals.

15. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said third circuit produces said calibration signal in response to said temperature, pressure and desired flow input signals.

16. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said third circuit comprises a PID controller.

17. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said temperature measuring device comprises a thermocouple.

18. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said pressure measuring device comprises a manometer.

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(8 / 34)

19. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said gas flow control valve includes an actuator that changes a valve disk position in response to said control signal.

20. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said gas flow sensor comprises a pressure manometer.

21. The gas flow control apparatus of claim 14 wherein said third circuit produces said calibration signal by statistically averaging said calibration signal with at least one previous calibration signal corresponding to said desired flow input signal.

22. The gas flow control apparatus of claim 14 further including means for evacuating said gas from said gas flow path.

23. The gas flow control apparatus of claim 22 wherein said means for evacuating said gas from said gas flow path includes a vacuum pump.

整理番号 : P 9 8 A M - 0 6 2

(9 / 34)

3. Detailed Description of Invention

FIELD OF THE INVENTION

The present invention relates generally to a gas flow system and method for controlling a gas flow. More specifically, the invention relates to a self-calibrated dynamic gas flow control method and apparatus for controlling the delivery of a gas to process chamber or other point-of-use location.

BACKGROUND OF THE INVENTION

It is known that in many industrial processes it is necessary to control the specific amounts of gas and gas mixtures delivered to point-of-use locations with a high degree of accuracy. Particularly, in semiconductor processing it has become increasingly important to control the specific mass of gases delivered during the fabrication of semiconductor devices. As the speed of next generation semiconductor devices increases, and the size/dimension of next generation semiconductor devices decreases, the degree of accuracy and control over the fabrication of next generation semiconductor devices must increase. As the architecture of semiconductor devices falls below the three submicron scale the semiconductor industry must find more accurate methods for delivering specific amounts of gas to a process chamber. The use and benefits of the present invention are described herein in relation to semiconductor processing, and more specifically, to the delivery of a gas to a process chamber. It is appreciated, however, that such a description is merely illustrative and that the present invention is applicable in other fields where it is desired to precisely control the amount of gas being delivered to a point-of-use location.

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(10 / 34)

One prior art method for delivering a gas to a semiconductor process chamber includes the use of a Mass Flow Controller (MFC). Figure 1 illustrates a prior art Mass Flow Controller (MFC) that is used to control gas flow. The MFC is calibrated to deliver a specific mass of gas to a process chamber within a specified amount of time. For example, an MFC may be calibrated to deliver 100 standard cubic centimeters per minute (sccm) of nitrogen gas (N₂) to a process chamber.

In order to control flow of gas the MFC divides the flow of gas between heated sensing tube (sensor) 110 and flow restriction bypass (bypass) 120. The MFC divides the flow of gas such that a majority of the gas flows through bypass 120 and only a small portion of gas flows through sensor 110.

Mass flow is measured in sensor 110. As the gas flow passes through heater coil (coil) 111 the gas picks up and carries heat toward heater coil (coil) 112. The movement of heat by the gas develops a temperature difference between the two coils. Coils 111 and 112 are both heaters but also act as resistance temperature detectors (RTDs) that measure the temperature of the gas. Thus, as the gas flows between coil 111 and coil 112, the change in temperature between coil 111 and coil 112 is measured and can be correlated to the mass flow rate of the gas by the MFC control system 130.

Once the temperature difference is measured and the correlating mass flow rate of the particular gas is determined, control system 130 adjusts the position of control valve 140. The position of control valve 140 is set in order to obtain the desired (or calibrated) flow rate for the particular gas being used.

One problem with the method associated with the MFC for delivering a specific mass of gas to a process chamber is the degree to which the MFC method is accurate. MFC's are currently designed to run at 40 to 80% of their

整理番号：P 9.8 AM-062

(11/34)

actual calibrated flow rate with an accuracy level of approximately 5%. For example, with respect to the MFC for N₂ calibrated with a flow rate of 100 sccm, described above, that particular MFC is designed to deliver N₂ at flow rates in the range of 40-80 sccm. Outside the 40-80% range the accuracy level of the MFC falls off. Next generation semiconductor devices require fabrication processes with greater accuracy than the prior art MFCs.

Another problem associated with MFCs is that they offer a limited dynamic range. The dynamic range is the ratio of the maximum and minimum controlled flow rates. As mentioned above, most MFCs are designed to run at 40 to 80% of their actual calibrated flow rate to achieve an accuracy of approximately 5%. As such, the dynamic range of such devices is limited to a ratio of approximately 2 to 1.

Another problem with the MFC is that most processes require that the flow of gas to the process chamber has the ability to be controlled. In many applications, it is not desirable to deliver all of the gas for a particular recipe to the process chamber all at once. Likewise it may not be desirable to place a small portion of the gas into the process chamber at the beginning of the process and a larger portion of the gas into the process chamber at the end of the process (or vice versa). Instead it is desirable to deliver the gas to the process chamber at a controlled rate in a manner that optimizes the productivity of that process. Because the accuracy of the MFC decreases outside the 40-80% range of the particular MFC's calibrated flow rate, the degree of control over the delivery of the gas also decreases.

Other methods and apparatus are used to deliver gases to point-of-use locations. For example, the use of a variable flow valve under the control of feedback control loop is a common method for controlling the delivery of a gas to a

整理番号：P 9,8 AM—062

(12/34)

point-of-use location. Figure 2 illustrates a typical prior art gas delivery system employing a variable flow valve 210 under the control of a feed-back controller 230. Gas is delivered from a gas source to a point-of-use location 250 by adjusting the throat area of valve 210 in response to a control signal 234. Control signal 234 is generated in response to a comparison between a desired flow input signal 236 and a measured flow signal 220. The desired flow input signal is generally provided through a user interface or from a preprogrammed process recipe. Measured flow signal 220 is produced by a flow meter or other flow measuring device 220 located at a point downstream of variable flow valve 210.

Over time the flow constant (C_v) of variable flow valve 210 changes due to wear or deposit build-up. In addition, output signal 236 of flow measuring device 220 changes over time for any given measured flow due to a phenomenon known as "drift." The change in flow constant, C_v , and the occurrence of "drift" both act to reduce the accuracy of the flow control apparatus. As a result, currently available feed-back flow control devices require the frequent implementation of time consuming recalibration procedures to maintain the devices within acceptable accuracy ranges. Such calibration procedures are costly in that they result in process down time and require the use of well-trained technicians to perform the procedure.

Thus, what is needed is a method and apparatus that is capable of delivering a gas flow to a processing apparatus with a high degree of accuracy over a large dynamic range.

整理番号：P 9 8 AM-062

(13/34)

SUMMARY OF THE INVENTION

A method and apparatus for controlling the delivery of a gas from a reservoir to a semiconductor process chamber is disclosed. In accordance with the present invention, a reservoir, having an inlet and outlet isolation valve and a known volume, is filled with a gas upon the initiation of process recipe step. The temperature and pressure of the gas in the reservoir are measured to determine an initial mass of the gas residing within the reservoir. The flow of gas from the reservoir to the process chamber is metered by a variable flow valve under the control of a self-calibrating, dynamic flow control circuit comprising a flow control servo loop (flow control circuit) and a calibration servo loop (calibration circuit). The variable flow valve is situated in a gas flow path between the reservoir and process chamber at a point upstream of an orifice. In operation, gas is delivered to the process chamber by releasing the gas from the reservoir and directing the gas through the variable flow valve and sonic orifice and into the process chamber. The flow control servo loop is used to dynamically control the variable flow valve in response to a measured gas flow rate. When the flow of gas to the process chamber is terminated, the temperature and pressure of the gas residing in the reservoir is again measured to determine the final mass of gas residing in the reservoir. The initial mass of gas and the final mass of gas values are compared to determine the actual mass of gas released from the reservoir during the recipe step. This value serves as an input to the calibration servo loop to update the system calibration constant. The execution of the calibration servo loop serves as a continuous self calibration of the dynamic servo loop.

Upon a command to initiate flow at a desired flow rate, a desired flow input signal is provided to a gain circuit. The gain circuit receives a calibration signal

整理番号 : P 9.8 AM - 062

(14/34)

from the calibration servo loop and correlates the desired flow input signal to a stored nominal gas flow rate and a corresponding voltage setpoint and outputs the voltage setpoint value as a calibrated desired flow signal. The calibrated desired flow signal serves as an input to a flow control servo loop. Concurrent with, or at some time prior to generating the calibrated desired flow signal, the temperature and pressure of gas residing in the reservoir is measured to determine an initial mass of gas residing in the reservoir. Upon receiving the calibrated desired flow signal, the flow control servo loop adjusts the position of the variable control valve and gas is released from the reservoir by opening the reservoir outlet isolation valve. When the flow rate of gas through the orifice is at or above sonic speed, the flow rate of the gas flowing through the system is measured by monitoring the pressure developed upstream of the orifice. A measured flow signal corresponding to the measured pressure is provided as an input to the flow control servo loop. The flow control servo flow loop, in turn, produces a flow control signal to control the throat area of the variable flow valve in response to the calibrated desired flow signal and the measured flow signal.

Upon a command to terminate flow, the reservoir outlet isolation valve is closed and the pressure and temperature of the gas in the reservoir is measured to determine a final mass of gas remaining in the reservoir. A desired mass of gas to be released from the reservoir is determined by integrating the desired flow signal over the period of time in which the reservoir outlet isolation valve was open. Knowing the initial and final mass of gas in the reservoir permits an exact calculation of the actual mass of gas released from the reservoir into the process chamber. A comparison of the desired mass of gas to be released from the reservoir and the actual mass of gas released from the reservoir results in the determination of a correction/calibration factor. The calibration factor is used as

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(15/34)

an input to the gain circuit to update or adjust the voltage setpoint corresponding to the desired flow rate for the process step just completed. In other words, the voltage output setpoint pertaining to a particular nominal flow rate is updated upon the completion of each process recipe step to account for the difference in one or more previously derived actual flow rates and their corresponding desired flow rate. Hence, self-calibration is achieved by repeatedly updating the gain circuit setpoint values in response to precisely derived gas mass values.

In another embodiment of the present invention, the gas flow path located downstream of the reservoir outlet isolation valve is evacuated prior to releasing a gas from the reservoir. Evacuating the flow path serves to minimize the occurrence of flow spikes when gas is initially released from the reservoir.

Additional features and benefits of the present invention will become apparent from the detailed description, figures, and claims set forth below.

整理番号：P 98 AM-062

(16/34)

The present invention is illustrated by way of example and not limitation in
the accompanying figures.

整理番号：P 9 8 AM-062

(17/34)

DETAILED DESCRIPTION

A method and apparatus for controlling the delivery of a gas from a reservoir to a semiconductor process chamber is disclosed. In the following description, numerous specific details are set forth such as specific materials, instrumentalities, dimensions, etc. in order to provide a thorough understanding of the present invention. It will be obvious, however, to one skilled in the art that these specific details need not be employed to practice the present invention. In other instances, well known materials, apparatus, methods, etc., have not been described in detail in order to avoid unnecessarily obscuring the present invention. Additionally, it should be noted that although the present invention is described in relation to semiconductor processing one with ordinary skill in the art will recognize that such a description is merely illustrative and is not intended to limit the invention. The specific processes and system described herein are only meant to help clarify one's understanding of the present invention and to illustrate particular embodiments in which the present invention may be implemented. It will be appreciated that the broader spirit and scope of the present invention, as set forth in the appended claims, may be applied to any type of process which seeks the achievements attained by the present invention.

Figure 3A illustrates a schematic diagram of a gas delivery system 300 in which the present invention may be utilized. In one embodiment, a process gas is delivered to a semiconductor process chamber by releasing the gas from a reservoir 350 of a known volume into a gas flow path containing a flow control valve 356 and an orifice 360. A self-calibrating, dynamic gas flow control circuit 301 provides a control signal to the flow control valve actuator 357 to control the flow of gas through the system. Actuator 357 may include a servo motor, pneumatic controller, solenoid, etc.. A pressure sensing device 358, such as a

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(18 / 34)

capacitance manometer, is provided in the gas flow path to measure the pressure of the gas flowing through the system at a point upstream of orifice 360. When the flow of gas through orifice 360 is critical (at or above sonic speed) the pressure of the gas located upstream the orifice is related to the flow rate of the gas passing through the orifice. In such an instance, the measured gas flow rate is calculated upon the determination of the pressure upstream orifice 360 as measured by pressure sensing device 358. When the gas flow through orifice 360 is not critical (below sonic speed), the flow of gas through the orifice is affected by the pressure in the piping downstream of the orifice. In such an instance, the flow rate of gas passing through orifice 360 is a function of the pressure upstream and downstream of the orifice.

Reservoir 350 contains an inlet isolation valve 352 and an outlet isolation valve 354. Gas is supplied to reservoir 350 from a main gas source 390. Gas may be directed from gas source 390 to process chamber 366 through reservoir 350. Alternatively, gas may be supplied to process chamber 366 through a reservoir bypass valve 380. Reservoir 350 includes a temperature measuring device 314 and a pressure measuring device 316 that are used to measure the temperature and pressure of a gas residing within the reservoir. In one embodiment, temperature sensing device 314 comprises a thermocouple and pressure sensing device 316 comprises a capacitance manometer. It should be noted, that any device for measuring the temperature and the pressure within reservoir 350 may be used in accordance with the concepts of the present invention. It is also understood that although only a single temperature measuring device and a single pressure measuring device are illustrated in Figure 3, more than one of each of the devices may be used in order to determine an average or a mean temperature or pressure of the gas within the

整理番号：P 9 8 AM-062

(19/34)

reservoir 350. Additionally, depending upon the size (or dimensions) of reservoir 350, the placement or positioning of the temperature and pressure measuring devices may vary in order to determine the temperature and pressure of the gas at the center, at the wall, etc... of reservoir 350.

A system isolation valve 362 is included within the gas delivery system piping to provide isolation between the gas delivery system and process chamber 366. In one embodiment, a vacuum source 365 is coupled to the gas delivery system piping between valves 354 and 356. The vacuum source is used to evacuate gas and/or air from the gas delivery system piping prior to initiating a gas flow to chamber 366. The process of evacuating the gas delivery system piping prior to initiating gas flow to the process chamber minimizes flow spikes inherent in conventional gas delivery systems. Valve 364 is used to isolate vacuum source 365 from the gas delivery system. In one embodiment, vacuum source 365 comprises a vacuum pump. An eductor, or any of a number of other gas evacuation apparatus known in the art, may also be used to remove entrapped gas and/or air from the gas delivery system piping. Although vacuum source 365 is shown coupled to the gas delivery system piping between valves 354 and 356, it is appreciated that the vacuum source may be coupled to the gas delivery system piping at any point between valve 354 and valve 362.

The flow of gas from reservoir 350 to process chamber 366 is metered by variable flow control valve 356 which is under the control of the self-calibrating, dynamic flow control circuit 301. In one embodiment, flow control circuit 301 comprises a flow control servo loop (flow control circuit) 308 and a calibration servo loop (calibration circuit) 326. The position of flow control valve 356 is varied by an actuator 357 that receives a control signal 310 from flow control circuit 308.

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(20/34)

In accordance with the present invention, reservoir 350 is filled with a gas upon the initiation of process recipe step. Reservoir 350, which has a known volume, is filled with a gas by closing outlet isolation valve 354 and opening inlet isolation valve 352. After reservoir 350 is filled with gas, inlet isolation valve 352 is closed. The temperature and pressure of the gas in reservoir 350 are then measured to determine an initial mass of the gas residing within the reservoir at the beginning of the recipe step. Temperature sensing device 314 produces a temperature signal 318 that is used as an input to an arithmetic circuit 322. Pressure sensing device 316 produces a pressure signal 320 that is also used as an input to circuit 322. Upon receiving the initial temperature and pressure signals 318 and 320 from sensors 314 and 316, respectively, circuit 322 determines the initial mass of gas residing in reservoir 350 using a gas equation of state.

Process gas is delivered to chamber 366 by releasing the gas from reservoir 350 by opening isolation valves 354 and 362. The process chamber pressure is at a lower pressure than the gas pressure in reservoir 350. Hence, as a result of opening valves 354 and 362, a gas flow is directed through the control valve 356 and orifice 360 and into process chamber 366. Flow control servo loop 308 is used to dynamically control the position of flow control valve 356 in response to a measured gas flow rate signal 330 and a calibrated desired flow input signal 306. As previously discussed, the gas pressure measured at a point upstream orifice 360 is related to the flow rate of the gas passing through the orifice when the flow rate is at or above sonic speed. In one embodiment, the correlation between the pressure measured by pressure sensing device 358 and the gas flow rate is linearized and stored within an orifice linearization circuit 332. In such an embodiment, the pressure signal 328 produced by device 358 is used

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(21 / 34)

as an input to circuit 332. Circuit 332 converts pressure signal 328 into a measured flow signal 330 which serves as an input to flow control servo 308. The calibrated desired flow input signal 306 is provided to flow control servo 308 by a gain circuit 304. A second pressure sensing device 370 may be positioned at a point downstream of orifice 360 as shown in Figure 3B. In this manner the differential pressure across orifice 360 may be determined and used as an input to circuit 332. In such an embodiment circuit 332 converts the differential pressure signal 372 into the measured flow signal 330 which serves as an input to flow control servo 308.

Upon a command to initiate flow at a desired flow rate, a desired flow input signal 302 is provided to gain circuit 304. Gain circuit 304 receives a calibration signal 303 from the calibration servo loop 326 and correlates the desired flow input signal to a stored nominal gas flow rate and a corresponding voltage setpoint and outputs the voltage setpoint value as a calibrated desired flow signal 306. As noted above, the calibrated desired flow input signal 306 serves as an input to the flow control servo loop 308. Upon receiving calibrated desired flow input signal 306, flow control servo loop 308 compares signals 306 and 330 and produces control signal 310 to adjust the position of flow control valve 356.

When the process recipe step is complete, the flow of gas from reservoir 350 to process chamber 366 is terminated by closing reservoir outlet isolation valves 354 and system isolation valve 362. The temperature and pressure of the gas residing in reservoir 350 is again measured to determine the final mass of gas residing in the reservoir. The temperature and pressure measurements are obtained via temperature and pressure sensing devices 314 and 316. The final mass of gas residing in reservoir 350 is calculated by circuit 322. Circuit 322 compares the initial mass of gas and the final mass of gas residing in the

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(22/34)

reservoir and produces an output signal 324 that represents the actual mass of gas released from the reservoir during the recipe step. Since a small amount of gas is trapped within the piping situated between valves 354 and 362, circuit 322 may be configured to account for the amount of gas residing within the piping when determining the actual amount of gas delivered to chamber 366. In high volumetric flow cases the amount of gas trapped within the piping between valves 354 and 362 may be insignificant. In such situations it may not be necessary to account for the trapped gas when determining the amount of gas actually delivered to chamber 366. Signal 324 serves as an input to calibration servo loop 326.

A signal corresponding to the desired amount of gas to be released from reservoir 350 during the recipe step is determined by integrating the desired flow input signal 302 over the period of time in which the reservoir outlet isolation valve 354 was open during the recipe step. Integration circuit 334 performs the integrating function and generates a signal 336 that is representative of the desired amount of gas to be released during the just completed process recipe step. A comparison of the desired mass of gas to be released from the reservoir (signal 336) and the actual mass of gas released from the reservoir (signal 324) results in the determination of a correction/calibration signal 303 which is determined by the calibration servo loop 326. In one embodiment, calibration servo loop 326 comprises a proportional integral derivative (PID) controller. Calibration signal 303 is used as an input to gain circuit 304 to update or adjust the voltage setpoint corresponding to the desired flow rate for the process step just completed. In other words, the voltage output setpoint pertaining to a particular nominal flow rate is updated upon the completion of each process recipe step to account for the difference in one or more previously derived actual

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(23/34)

flow rates and their corresponding desired flow rate. Hence, self-calibration is achieved by repeatedly updating the gain circuit setpoint values in response to precisely derived gas mass values.

Because the present invention uses precisely derived values in determining the actual mass of gas delivered to the process chamber during a recipe step, the calculation of the system calibration constant serves as an absolute and independent measure of the performance of the gas delivery system. For instance, it is known that the flow constant, C_v , of orifice 360 and flow control valve 356 changes over time due to thermal effects, wear, and particle build up. In addition, it is known that the output signal of instrumentation devices, such as capacitance manometer 358, experience drift which can affect the accuracy of the flow servo loop 308 over time. Since the present invention is capable of establishing a system calibration constant that is independent of the variables inherent in gas delivery system components, the present invention has the ability to control gas flow rates at accuracy levels that are much higher than those obtainable using MFC's or other conventional flow control systems. Moreover, the dynamic range (ratio of the maximum controlled gas flow to the minimum controlled gas flow) of the gas flow delivery system is greatly enhanced over the prior art methods. For example, conventional flow control devices have a dynamic range of 10/1 or less. Dynamic ranges in the range of 200/1 and greater may be achieved with the gas flow delivery system and methods of the present invention.

In some instances it may be desirable to bypass reservoir 350. In such a case, gas may be routed through reservoir bypass valve 380 and into process chamber 366 through control valve 356. When reservoir 350 is bypassed,

整理番号：P 9.8 AM-062

(24/34)

previously derived calibration values are used in conjunction with other control parameters to control the flow of gas through flow control valve 356.

In the foregoing description, the self-calibrating, dynamic flow control system 301 has been described to include a variety of circuits that operate in conjunction with one another to produce a calibrated flow control signal. It is appreciated that the present invention is not limited to the use of a specific set of control system components. For example, conventional electrical/electronic switching techniques and conventional solid state microprocessor techniques may be used to control the flow of gas in accordance with the methods of the present invention. Such components may include a computer or microprocessor, a digital signal processor, firmware, digital hardware, discrete hardware, software routines, programmable hardware or integrated circuits, output signal amplifiers, storage memory, etc.. In one embodiment control system 301 also includes look-up tables to aid in the initial positioning of control valve 356 at the beginning of a process recipe step. The look-up tables includes calibration information relating to the specific process gas being delivered and control valve positions that enable control system 301 to establish the initial position of control valve 356 when given the initial pressure and temperature of the process gas residing in reservoir 350. It will also be obvious to one with ordinary skill in the art, that reservoir inlet isolation valve 352, reservoir outlet isolation valve 354, system isolation valve 362 and vacuum purge valve 364 may be automatically operated by the same control system, or by different control systems. In one embodiment control system 301 operates the inlet and outlet isolation valves 352 and 354, respectively, along with control valve 356.

The previous description has included the use of a temperature measurement in order to determine the initial mass of gas and final mass of gas

整理番号：P 9 8 A M - 0 6 2

(25/34)

residing within reservoir. It is understood that such a temperature measurement is not required when the gas delivery system is operated under isothermal conditions. Therefore, if the temperature of gas in reservoir 350 is held constant by a temperature control system, or other apparatus, there is no need to measure the temperature of gas as prescribed above.

The size of orifice 360, the size of the throat (flow area) of flow control valve 356, and the size of reservoir 350 may vary depending upon the particular flow requirements of the gas delivery system. In one embodiment, the gas delivery system components are sized and controlled in order to maintain a pressure of between 2 to 10 psia upstream orifice 360. Controlling the pressure upstream of the orifice allows the user to control the dynamic control range of the system.

Figure 5 illustrates a flow chart representing the method used to control the flow of gas from reservoir 350 to process chamber 366 during a process recipe step in accordance with present invention. Upon the initiation of a process recipe step, a Desired Flow Input Signal 302 and a Calibration Signal 306 is provided to flow control circuit 308 to produce a Calibrated Desired Flow Input Signal 310. Concurrent with, or at some time prior to generating the Calibrated Desired Flow Input Signal 310, reservoir 350 is filled and the temperature and pressure of the gas in the reservoir is measured to determine an initial mass of gas residing in the reservoir. Upon receiving the Calibrated Desired Flow Input Signal, flow control circuit 308 provides a Control Signal to flow control valve 356 to adjust the position of the flow control valve. A gas flow from reservoir 350 to process chamber 366 is initiated by opening reservoir outlet isolation valve 354 and system isolation valve 362. The flow rate of the gas is measured by sensing the pressure of the gas at a point upstream of sonic orifice 360. A Measured

整理番号 : P 9 8 A M - 0 6 2

(26/34)

Flow Signal 330 is provided to circuit 308 which corresponds to the pressure measured by the pressure sensing device 358. Upon the completion of the process recipe step, the flow of gas from reservoir 350 to process chamber 366 is terminated by closing reservoir outlet isolation valve 354. The final mass of gas remaining in reservoir 350 is determined by again measuring the temperature and pressure of the gas in the reservoir. The actual mass of gas released from the reservoir is then calculated by subtracting the final mass calculation from the initial mass calculation. An Actual Mass Signal 324 representative of this calculation is provided to calibration circuit 326. In conjunction with determining the actual mass of gas dispensed from reservoir 350, the desired mass of gas requested for the just completed recipe step is calculated by integrating the Desired Flow Input Signal over a period of time in which gas was released from reservoir 350 into process chamber 366. This function is typically performed by an integrating circuit 334 which produces a Desired Mass of Gas Requested Signal 336. The Desired Mass of Gas Signal 336 also serves as an input to calibration circuit 326. Upon receiving signals 324 and 336, calibration circuit 326 determines an updated system calibration factor and produces a Calibration Signal 303 relating to a comparison between signals 324 and 336. The updated Calibration Signal 303 is then used in a subsequent process recipe step to appropriately adjust the Desired Flow Input Signal 302 to a Calibrated Desired Flow Input Signal 306.

In one embodiment, the portion of the gas delivery system 300 that is located between isolation valves 354 and 362 is evacuated prior to initiating a gas flow from reservoir 350 to chamber 366. Evacuation of gases and/or entrapped air from the system is achieved by opening purge isolation valve 364 to permit a vacuum to be drawn on the system by a vacuum pump, or other

整理番号：P 9 8 AM-062

(27/34)

vacuum source. As previously noted, evacuating the flow path serves to minimize the occurrence of flow spikes when gas is initially released from the reservoir into the process chamber.

The foregoing description has been limited to a gas delivery system and method wherein gas is delivered from a reservoir of a known volume to a single gas flow channel. It is to be understood, however, that the gas delivery system of the present invention is not limited to the delivery of gas through a single gas flow controller. Figure 4, a gas flow control system wherein the teachings of the present invention are used to deliver gas from a reservoir 550 to a plurality of gas flow channels 570 and 572. Although Figure 4 illustrates a gas flow control system containing two separate flow channels 570 and 572, it is appreciated that the present invention is not limited to such an embodiment and may include any number of gas flow channels connected to one or more process chambers.

In the system of Figure 4, a process gas may be delivered from reservoir 550 to either of process chambers 566a or 566b by releasing a gas from the reservoir into either of gas flow channels 570 or 572, respectively. A gas source 590 or multiple gas sources (590 and 594) supply gas to reservoir 550. In some instances it may be desirable to direct a gas through either gas flow channel 570 or 572 without the gas first passing through reservoir 550. Reservoir bypass valves 580a and 580b are provided in the gas supply piping to permit such a flow scheme. Gas flow channel 570 includes an isolation valve 555a, a flow control valve 556a, a pressure sensing device 558a, an orifice 560a, and a system isolation valve 562a. Similarly, gas flow channel 572 includes an isolation valve 555a, a flow control valve 556b, a pressure sensing device 558b, an orifice 560b, and a system isolation valve 562b. A second pressure sensing device (not shown) may be included in both gas flow channels 570 and 572 at a point

整理番号：P 9.8 AM-062

(28/34)

downstream of orifices 560a and 560b. In accordance with the present invention, a self-calibrating, dynamic gas flow control circuit 501 provides a control signal 510a or 510b to either of flow control valve actuators 557a or 557b to control the flow of gas to process chambers 566a or 566b, respectively.

Reservoir 550 contains an inlet isolation valve 552 and an outlet isolation valve 554. Reservoir 550 also includes a temperature measuring device 514 and a pressure measuring device 516 that are used to measure the temperature and pressure of a gas residing within the reservoir.

When a flow of gas from reservoir 550 to process chamber 566a is desired, the gas flow is metered by variable flow control valve 556a which is under the control of actuator 557a. Conversely, when a flow of gas from reservoir 550 to process chamber 566b is desired, the gas flow is metered by variable flow control valve 556b which is under the control of actuator 557b. Two flow control servo loops 508a and 508b are included within circuit 501 to provide control signals 510a or 510b to actuators 557a and 557b, respectively. Each of flow control servo loops 508a and 508b function in a similar manner to the flow control servo loop 308 described in Figure 3A. Flow control servo loop 508a receives as inputs a calibration signal 506a and a measured gas flow rate signal 530a. An orifice linearization circuit 532a produces signal 530a in response to a measured pressure signal 528a. Flow control servo loop 508b receives as inputs a calibration signal 506b and a measured gas flow rate signal 530b. An orifice linearization circuit 532b produces signal 530b in response to a measured pressure signal 528b.

In accordance with one embodiment of the present invention, reservoir 550 is filled with a gas upon the initiation of process recipe step. Reservoir 550, which has a known volume, is filled with a gas by closing outlet isolation valve

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(29/34)

554 and opening inlet isolation valve 552. After reservoir 550 is filled with gas, inlet isolation valve 552 is closed. The temperature and pressure of the gas in reservoir 550 are then measured to determine an initial mass of the gas residing within the reservoir at the beginning of the recipe step. Temperature sensing device 514 produces a temperature signal 518 that is used as an input to an arithmetic circuit 522. Pressure sensing device 516 produces a pressure signal 520 that is also used as an input to circuit 522. Upon receiving the initial temperature and pressure signals 518 and 520 from sensors 514 and 516, respectively, circuit 522 determines the initial mass of gas residing in reservoir 550 using a gas equation of state.

Process gas may be delivered to either of process chambers 566a or 566b through reservoir 550. For example, gas is delivered to process chamber 566a by releasing a gas from reservoir 550 by opening reservoir outlet isolation valve 554 and gas flow channel 570 isolation valves 555a and 562a. Since the process chamber pressure is at a lower pressure than the gas pressure in reservoir 550, a gas flow is directed through the control valve 556a and orifice 560a and into process chamber 566a. Flow control servo loop 508a is used to dynamically control the position of flow control valve 556a in response to a measured gas flow rate signal 530a and a calibrated desired flow input signal 506a. When the flow rate of the gas passing through orifice 560a is greater than sonic speed, the gas pressure measured by pressure sensing device 558a is related to the flow rate of the gas passing through orifice 560a. In one embodiment, the correlation between the pressure measured by pressure sensing device 558a and the gas flow rate is linearized and stored within an orifice linearization circuit 532a. In such an embodiment, the pressure signal 528a produced by device 558a is used as an input to circuit 532a. Circuit 532a

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(30 / 34)

converts pressure signal 528a into a measured flow signal 530a which serves as an input to flow control servo 508a. The calibrated desired flow input signal 506a is provided to flow control servo 508a by a gain circuit 504a. As noted above, a second pressure sensing device (not shown) may be positioned at a point downstream of orifice 560a so that the differential pressure across orifice 560a may be determined and used as an input to circuit 532. In such an embodiment circuit 532 receives a differential pressure signal and converts the signal into a measured flow signal 530a which serves as an input to flow control servo 508a.

Upon a command to initiate flow at a desired flow rate to process chamber 566a, a desired flow input signal 502a is provided to gain circuit 504a. Conversely, when a gas flow is chosen to be directed through flow channel 572 and into process chamber 566b, a signal 502b is provided to gain circuit 504b. When gas flow channel 570 is selected to receive a gas flow from reservoir 550, gain circuit 504a receives a calibration signal 503 from the calibration servo loop 526 through a multiplexer 507 and correlates the desired flow input signal to a stored nominal gas flow rate and a corresponding voltage setpoint and outputs the voltage setpoint value as a calibrated desired flow signal 506a. Multiplexer 507 directs signal 503 to either gain circuit 504a or 504b depending upon the flow channel that is selected to receive gas from reservoir 550. As noted above, the calibrated desired flow input signal 506a serves as an input to the flow control servo loop 508a. Upon receiving calibrated desired flow input signal 506a, flow control servo loop 508a compares signals 506a and 530a and produces control signal 510a to adjust the position of flow control valve 556a.

When the process recipe step is complete, the flow of gas from reservoir 550 to process chamber 566a is terminated by closing reservoir outlet isolation valve 554a and channel isolation valve 555a and 562a. The temperature and

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(31/34)

pressure of the gas residing in reservoir 550 is again measured to determine the final mass of gas residing in the reservoir. The temperature and pressure measurements are obtained via temperature and pressure sensing devices 514 and 516. The final mass of gas residing in reservoir 550 is calculated by circuit 522. Circuit 522 compares the initial mass of gas and the final mass of gas residing in the reservoir and produces an output signal 524 that represents the actual mass of gas released from the reservoir during the recipe step. Since a small amount of gas is trapped within the piping situated between valves 554a and 562a, circuit 522 may be configured to account for the amount of gas residing within the piping when determining the actual amount of gas delivered to chamber 566a. Signal 524 serves as an input to calibration servo loop 526.

A signal corresponding to the desired amount of gas to be released from reservoir 550 during the recipe step is determined by integrating either the desired flow input signal 502a or 502b over the period of time in which the reservoir outlet isolation valve 554a was open during the recipe step. Multiplexer 505 may be selected to direct either of signals 502a or 502b to integration circuit 534, depending upon the gas flow channel that is chosen to receive gas from reservoir 550. Integration circuit 534 performs the integrating function and generates a signal 536 that is representative of the desired amount of gas to be released during the just completed process recipe step. A comparison of the desired mass of gas to be released from the reservoir (signal 536) and the actual mass of gas released from the reservoir (signal 524) results in the determination of a correction/calibration signal 503 which is determined by the calibration servo loop 526. As previously discussed, calibration signal 503 is provided to either of gain circuits 504a or 504b through multiplexer 507. In one embodiment, calibration servo loop 526 comprises a proportional integral derivative (PID)

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(32/34)

controller. Calibration signal 503 is used as an input to gain circuit 504a to update or adjust the voltage setpoint corresponding to the desired flow rate for the process step just completed. In other words, the voltage output setpoint pertaining to a particular nominal flow rate is updated upon the completion of each process recipe step to account for the difference in one or more previously derived actual flow rates and their corresponding desired flow rate. Hence, self-calibration is achieved by continuously updating the gain circuit setpoint values in response to precisely derived gas mass values. Gain circuit 504a includes a memory device for storing the updated setpoint values. A gas flow from reservoir 550 to process chamber 566b is controlled in a like manner. When process chamber 566b is selected to receive a gas flow from reservoir 550, multiplexer 505 directs signal 502b to integration circuit 534 and multiplexer 507 directs calibration signal 503 to gain circuit 504b.

In accordance with one embodiment of the present invention, a gas flow may be delivered to one gas flow channel (570 or 572) from reservoir 550, while the same gas or another gas is being delivered to the other gas flow channel. For example, gas from gas source 590 may be directed to reservoir 566a through reservoir 550 while another gas from gas source 594 is being delivered to process chamber 566b. An isolation valve 598 is provided between gas source isolation valves 592 and 596. In such an embodiment, gas source isolation valve 592 is opened while filling reservoir 550 and valve 598 is closed. Gas is directed from reservoir 550 through flow channel 570 by opening reservoir outlet isolation valve 554 and channel inlet isolation valve 555a. While gas is being supplied to process chamber 566a, another gas is delivered to process chamber 566b through flow channel 572. Gas is supplied to flow channel 572 by opening gas source isolation valve 596 and reservoir bypass valve 580b. In this manner, flow

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(33/34)

may be simultaneously directed through flow channels 570 and 572 and into process chambers 566a and 566b, respectively. Gas flow through flow channel 570 is controlled by flow control valve 556a. In accordance with the self-calibration flow control method described above while the gas flow through flow channel 572 is controlled by flow control valve 556b using previously derived calibration values. Although Figure 4 illustrates a gas flow system having two gas sources and two gas flow channels, it is appreciated that any number of gas sources and gas flow channels may be incorporated into the gas delivery system without deviating from the spirit and scope of the invention.

In one embodiment, a vacuum source 565 is coupled to the gas delivery system piping between reservoir outlet isolation valve 554 and gas flow channel isolation valves 555a and 555b. The vacuum source is used to evacuate gas and/or air from the gas delivery system piping prior to initiating a gas flow to either of chambers 566a or 566b. Valve 564 is used to isolate vacuum source 565 from the gas delivery system. Although vacuum source 565 is shown coupled to the gas delivery system piping at a point just downstream flow channel isolation valves 555a and 555b, it is appreciated that the vacuum source may be coupled to the gas delivery system piping at any point between reservoir isolation valves 555a and 555b and chambers 566a and 566b.

Whereas many alterations and modifications of the present invention will no doubt become apparent to a person of ordinary skill in the art after having read the foregoing description, it is to be understood that the various embodiments shown and described by way of illustration are in no way intended to be considered limiting. Therefore, references to details of various embodiments are not intended to limit the scope of the claims which in themselves recite only those features regarded as essential to the invention.

整理番号：P 9 8 AM-0 6 2

(34/34)

4. Brief Description of Drawings

Figure 1 illustrates a prior art Mass Flow Controller (MFC) that is used to control gas flow.

Figure 2 illustrates a typical prior art gas delivery system.

Figure 3A illustrates a schematic diagram of one embodiment of the present invention.

Figure 3B illustrates a schematic diagram of another embodiment of the present invention..

Figure 4 illustrates a schematic diagram of yet another embodiment of the present invention.

Figure 5 illustrates a flow chart of one embodiment of the present invention.

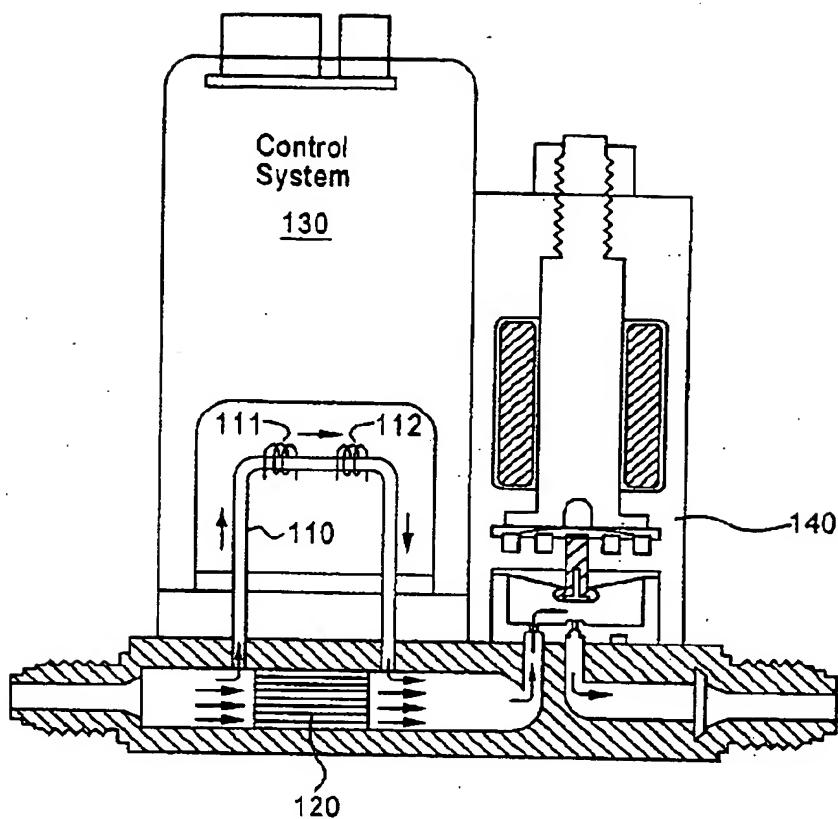


FIG.1

P 98 AM - 062

(2)

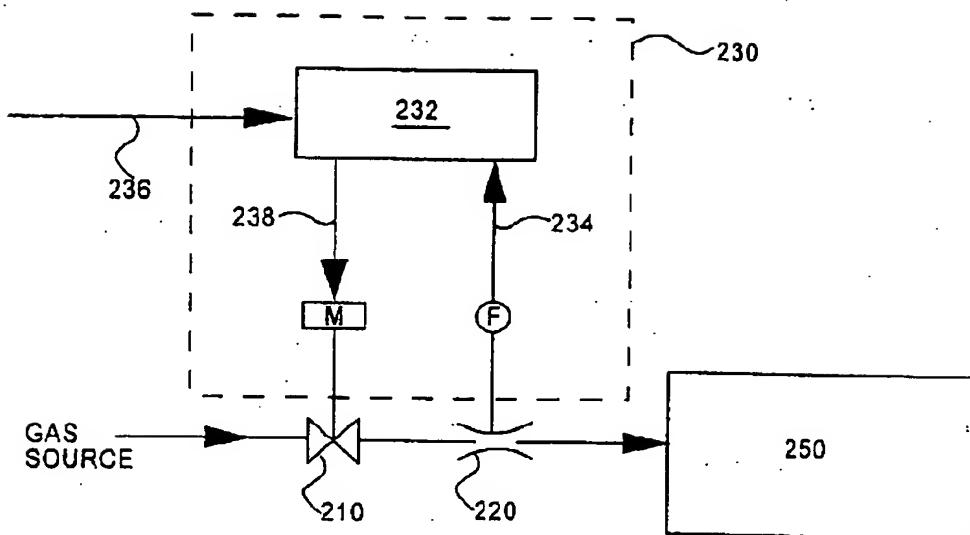


FIG.2

P 9 8 A M - 0 6 2

(3)

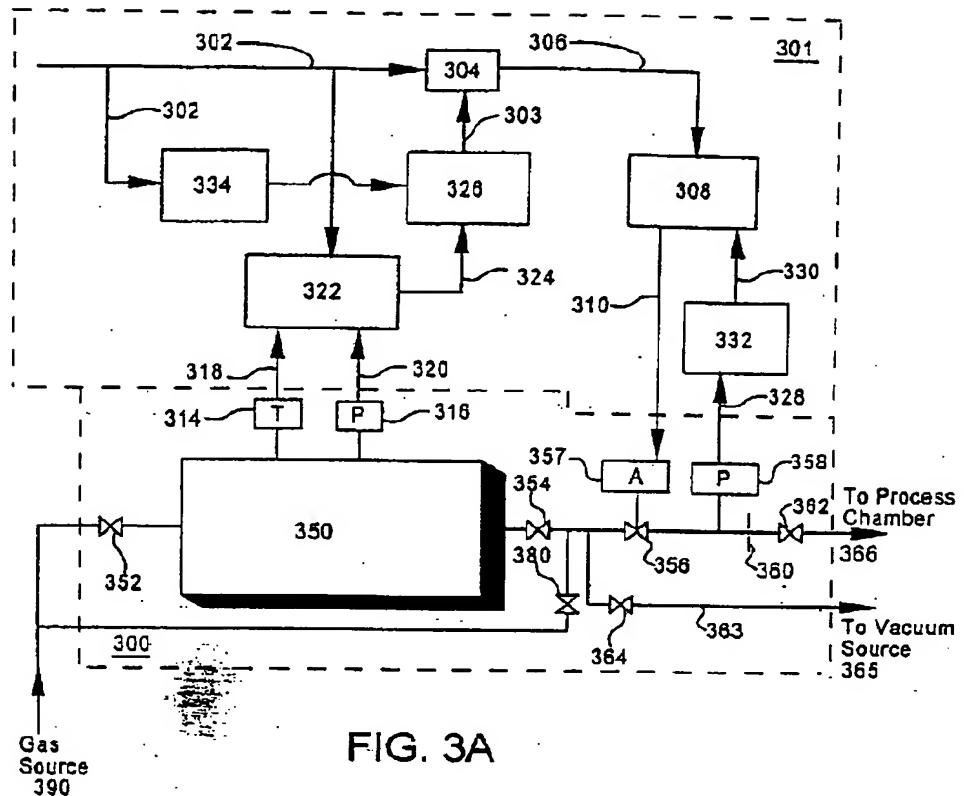


FIG. 3A

P 9 8 A M - 0 6 2

(4)

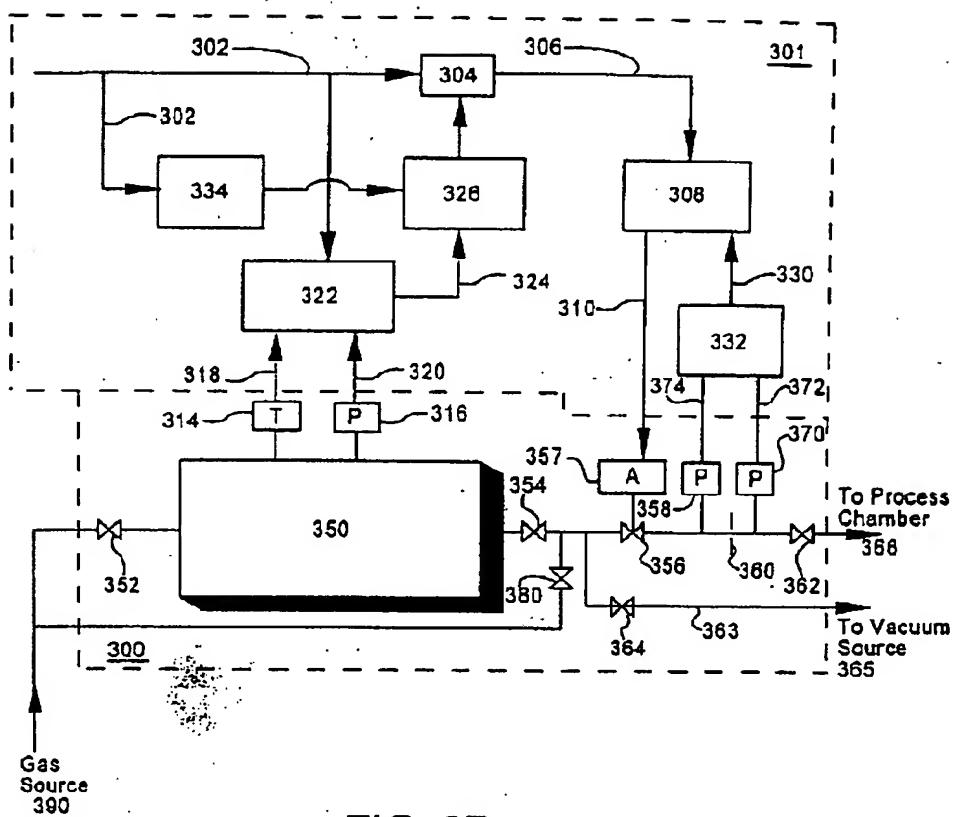


FIG. 3B

P 9 8 A M - 0 6 2

(5)

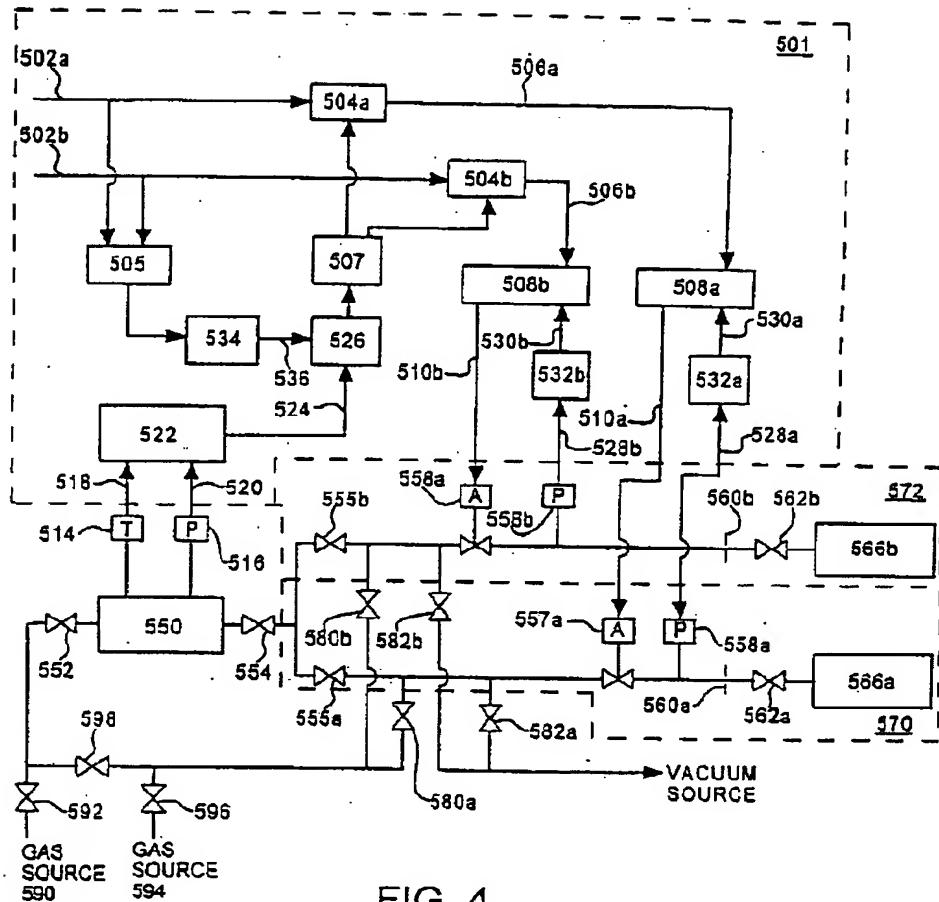


FIG. 4

P 9 8 A M - 0 6 2

(6)

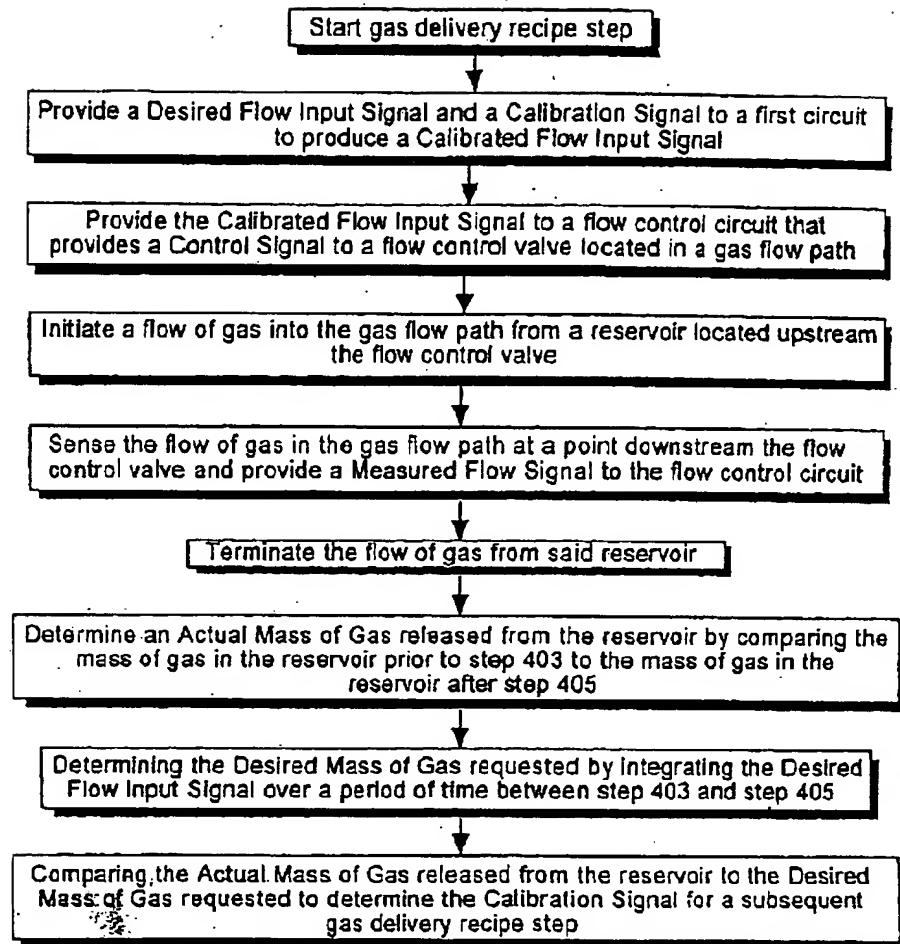


FIG. 5

1. Abstract

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

A method and apparatus for controlling the delivery of a gas from a reservoir to a semiconductor process chamber. In accordance with the present invention, a reservoir, having an inlet and outlet isolation valve and a known volume, is filled with a gas upon the initiation of process recipe step. The temperature and pressure of the gas in the reservoir are measured to determine an initial mass of the gas residing within the reservoir. The flow of gas from the reservoir to the process chamber is metered by a variable flow valve under the control of a self-calibrating, dynamic flow control circuit comprising a flow control servo loop (flow control circuit) and a calibration servo loop (calibration circuit). The variable flow valve is situated in a gas flow path between the reservoir and process chamber at a point upstream of a orifice. In operation, gas is delivered to the process chamber by releasing the gas from the reservoir and directing the gas through the variable flow valve and sonic orifice and into the process chamber. The flow control servo loop is used to dynamically control the variable flow valve in response to a measured gas flow rate. When the flow of gas to the process chamber is terminated, the temperature and pressure of the gas residing in the reservoir is again measured to determine the final mass of gas residing in the reservoir. The initial mass and final mass of gas values are compared to determine the actual mass of gas released from the reservoir during the recipe step. This value serves as an input to the calibration servo loop to update the system calibration constant. The execution of the calibration servo loop serves as a continuous self calibration of the dynamic servo loop.

2. Representative Drawing

Fig. 3A